ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

«АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ и ДИНАМИКА»

(МСАРД – **2015)**

23 – 26 июня 2015, Санкт-Петербург-Петродворец

Тезисы

Санкт–Петербург

2015

GOVERMENT OF RUSSIAN FEDERATION

SAINT – PETERSBURG STATE UNIVERSITY

INTERNATIONAL SYMPOSIUM

«ATMOSPHERIC RADIATION and DYNAMICS»

(ISARD – 2015)

23 – 26 June 2015, Saint-Petersburg- Petrodvorets

Theses

Saint–Petersburg

2015

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА:

Российский фонд фундаментальных исследований

Санкт-Петербургский государственный университет

THE SUPPORT:

Russian Foundation for Basic Research

Saint-Petersburg State University

ОГЛАВЛЕНИЕ **(TABLE of CONTENTS)**

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 6
PLENARY SESSION 6

СЕКЦИЯ 1. "СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ и ПОВЕРХНОСТИ" 18
SESSION 1. "SATELLITE SOUNDING OF ATMOSPHERE AND SURFACE" 18

СЕКЦИЯ 2. "ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ и ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ в РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА" 64
SESSION 2. "REMOTE SENSING OF ATMOSPHERE AND UNDERLYING SURFACE IN DIFFERENT SPECTRAL RANGES" 64

СЕКЦИЯ 3. "ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ" 115
SESSION 3. "RADIATION TRANSFER THEORY" 115

СЕКЦИЯ 4. "ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ с ОБЛАКАМИ и АЭРОЗОЛЕМ" 139
SESSION 4. "RADIATION-CLOUD AND RADIATION-AEROSOL INTERACTIONS" 139

СЕКЦИЯ 5. "РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ и РАДИАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ в МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ и КЛИМАТА" 189
SESSION 5. "RADIATIVE CLIMATOLOGY AND ALGORITHMS IN MODELS FOR WEATHER AND CLIMATE FORECASTING" 189

СЕКЦИЯ 6. "НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ и ПОВЕРХНОСТИ" 231
SESSION 6. "FIELD STUDIES OF RADIATIVE CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERE AND SURFACE" 231

СЕКЦИЯ 7. "ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН, МАКРОЦИРКУЛЯЦИЯ и ДИНАМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ в АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ и ДРУГИХ ПЛАНЕТ" 252
SESSION 7. "WAVE CHARACTERISTICS, MACROCIRCULATION AND DYNAMICS INTERACTIONS IN ATMOSPHERES OF THE EARTH AND OTHER PLANETS" 252

СЕКЦИЯ 8. "СТРУКТУРА и СОСТАВ СРЕДНЕЙ и ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ и ДРУГИХ ПЛАНЕТ" 289
SESSION 8. "STRUCTURE OF MIDDLE AND UPPER ATMOSPHERE OF THE EARTH AND OTHER PLANETS" 289

СЕКЦИЯ 9. "ФОТОХИМИЯ и КИНЕТИКА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ АТОМОВ и МОЛЕКУЛ и НЕРАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ в АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ и ДРУГИХ ПЛАНЕТ" 311
SESSION 9. "PHOTOCHEMISTRY AND KINETICS OF EXCITED STATES OF ATOMS AND MOLECULES AND NON-LTE RADIATION IN THE ATMOSPHERE OF THE EARTH AND OTHER PLANETS" 311

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 325
AUTHORS INDEX 330

Энергетический спектр космических лучей

Голицын Г.С. (gsg@ifaran.ru)
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

Космические лучи (КЛ) ионизируют ядра конденсации, т.е. участвуют в облакообразовании. Рассматриваются КЛ галактического происхождения с энергиями E 10 ГэВ. Их спектр I E , т.е. число частиц с энергиями E dE, регистрируемых с единичного телесного угла в единицу времени на единицу площади, имеет два чётких степенных участка: для $3\ 10^5$ E $10\,\mathrm{GeV}$ показатель степени n 2.7, и для $3\ 10^5$ E $3\ 10^9\,$ГэВ n 3.1. Обычно имеют дело с интегральными спектрами, для которых показатель степени n на единицу меньше:

$$I \quad E \quad \int_E I \quad E\, dE\,,$$

как более гладкими случайными величинами, т.е. с кумулятивными распределениями.

Согласно механизму Ферми (1949) ускорение частиц КЛ происходит на случайных ударных волнах УВ в межзвёздном газе, происходящих при взрыве сверхновых звёзд (СН). В нашей Галактике такие взрывы с энергиями 10^{42} 10^{43} Дж происходят 2.7 раз в сто лет. Эти взрывы ответственны за ускорение КЛ, за галактическое магнитное поле, за турбулентность в межзвёздном газе. Плотность энергии этих процессов w_0 $0.5\,$эВ/см^3. Видна аналогия с давлением p nkT nE_T, имеющим ту же размерность энергии на единицу объёма. Эта аналогия позволяет определить масштаб площади с помощью w_0 / E $^{2/3}$. Масштаб времени определяется частотой взрывов СН. В итоге размерности для интегрального спектра дают формулу

$$I \quad E \quad c_1 \frac{G}{E}\left(\frac{w_0}{E}\right)^{2/3} \quad E^{\ 5/3},$$

что является оценкой сверху.

Для второго участка спектра очень энергичных КЛ использование этого выражения даёт также сверху оценку

$$I \quad E \quad G^{5/3} w_0^{4/9} E^{\ 19/9},$$

т.е. 2+1/9 против эмпирического показателя 2+1/10.

Другой вывод тех же результатов имеет место при прямом рассмотрении механизма Ферми для уравнения Ньютона отдельной частицы, подвергающейся действию случайной силы, ускорению, на фронтах УФ, что рассматривается как дельта-коррелированный случайный процесс, что приводит к диффузии в пространстве импульсов и к росту энергии частиц КЛ со временем.

The energy spectrum of cosmic ray particles

G.S. Golitsyn (gsg@ifaran.ru)
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

Cosmic rays (CR) are ionizing cloud condensation nucleus, i.e. are an important part of the climate processes. Here we consider only a permanent fraction of CR with energies E $10\,\mathrm{GeV}$ of galactic origin. Their spectrum energy distribution is I E , the number of particles, registered in the unit time at unit area has two power law parts: for 10 E $3\ 10^5\,\mathrm{GeV}$ the power energy

exponent is $n \quad 2.7$ and for $F \quad 3\ 10^5\,\mathrm{GeV} - n \quad 3.1$. Usually integral, cumulative, spectra are used with exponents of $m \quad n \quad 1$:

$$I \quad E \quad \int_E I \quad E\ dE\ .$$

According to mechanism by Fermi (1949) the acceleration of CR particles is taking place at the fronts of random shock waves (SW) generated at supernova starts (SN) explosions. In our Galaxy there are 2.7 explosions per a hundred years. These explosions are responsible for SW, CR, galactic magnetic fields, turbulence in the interstellar gas. The spatial energy density for all of the processes $w_0 \quad 0.5\ \mathrm{eV/cm^3}$. An analogy is visible with the pressure in the ideal gas $p \quad nkT \quad nE_T$ of the same dimension of energy per unit volume. This allows one to determine the area scale $w_0 / E^{\ 2/3}$ because the dimension of concentration n is cm^{-3}. The time scale is determined by the explosion frequency. In sum the dimension of the integral spectrum $S^{\ 1}T^{\ 1}$ is

$$I \quad E \quad c_1 \frac{G}{E}\left(\frac{w_0}{E}\right)^{2/3} \quad E^{\ 5/3},$$

which is an estimate from above, c_1 is the numerical coefficient.

For the second part of the spectrum of very energetic CR the use of this expression for $w \quad E$ gives also an estimate from above as

$$I \quad E \quad G^{\ 5/3} w_0^{\ 4/9} E^{\ 19/9},$$

i.e. 2+1/9 versus empirical 2+1/10.

Another derivation of these results is basing on the direct use of the Fermi mechanism by considering the Newton law momentum equation $dp / dt \quad f$ with acceleration force acting at the fronts of random SW. The stochastic nature of accelerations can be considered as random walks in the momentum space which leads to the increase of CR particle energy linearly with time.

Новый оперативный метеорологический спутник “МЕТЕОР-М” № 2

Асмус В.В.[1](asmus@planet.ittp.ru), Кровотынцев В.А.[1], Макриденко Л.А.[2], Милехин О.Е.[1], Соловьев В.И.[1], Успенский А.Б.[1], Фролов А.В.[3], Хайлов М.Н.[4]
[1]НИЦ "Планета"; Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия
[2]ОАО “Корпорация “ВНИИЭМ”, Хоромный тупик *4/1, 107078* Москва, Россия
[3]Росгидромет, Нововаганьковский пер. *12, 125993* Москва, Россия
[4]Роскосмос, ул. Щепкина *42, 107996* Москва, Россия

В июле 2014 г. на солнечно-синхронную орбиту был запущен метеорологический КА “Метеор-М” № 2 – второй в серии перспективных полярно-орбитальных метеоспутников в составе космического комплекса “Метеор-3М”. Наряду с КА “Метеор-М” № 1 (запущен в сентябре 2009 г.) и КА “Метеор-М” № 2 в состав космического комплекса “Метеор-3М” должны входить еще два метеорологических КА (“Метеор-М” № 2-1 – 2015 г. и “Метеор-М” № 2-2 – 2016 г.). Цель – создание группировки однотипных метеоспутников на утренних и послеполуденных орбитах.

Даются общие сведения о бортовом измерительном комплексе метеорологических КА типа “Метеор-М”, составе выходных продуктов и областях их применения. Кратко описан наземный комплекс приема обработки, распространения и архивации спутниковых данных Росгидромета. Представлены результаты летных испытаний бортовой целевой аппаратуры гидрометеорологического назначения (МСУ-МР, КМСС, МТВЗА-ГЯ, ИКФС-2, БРЛК), приведены примеры выходных информационных продуктов, получаемых по спутниковым данным. Рассмотрено состояние работ по абсолютной (внешней) калибровке и валидации данных микроволнового сканера-зондировщика МТВЗА-ГЯ, а также контролю бортовой калибровки ИК-зондировщика ИКФС-2.

New operational meteorological satellite "METEOR-M" N 2

V. Asmus[1] (asmus@planet.ittp.ru), L. Makridenko[2], O. Milekhin[1], V. Solovjev[1], A. Uspensky[1], A. Frolov[3], M. Khailov[4]

[1]*State Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

[2]*VNIIEM Corporation JSC, Khoromny tupik 4/1, 107078 Moscow, Russia*

[3]*Roshydromet, 12 Novovagankovsky per., 125993 Moscow, Russia*

[4]*Roskosmos, 42 Shchepkina str., 107996 Moscow, Russia*

In July, 2014 the meteorological satellite "Meteor-M" N 2, has been successfully launched on sun-synchronous orbit. It is the second of a new generation satellites comprising space observation system "Meteor-3M". Along with "Meteor-M" N 1 (launched in 2009) and "Meteor-M" N 2 it is planned to launch a constellation of similar satellites (complementing the "Meteor-3M" system) with the same payload as the one of Meteor-M N2, namely Meteor-M N2-1 (2015), Meteor-M N2-2 (2016). The goal is to create a system of identical operational meteorological satellites in morning and afternoon orbits.

The status update of Roshydromet ground segment is provided. The results of "Meteor-M" №2 basic instruments (MSU-MR, KMSS, MTVZA-GY, IKFS-2, BRLK) commissioning phase as well as examples of operational products and there applications are presented. The studies of cal/val problems with respect to MW-sounder MTVZA-GY and IR-sounder IKFS-2 are discussed.

Satellite, airborne, and ground-based ultraspectral remote sensing techniques

W. Smith Sr. (bill.l.smith@cox.net), A. Larar, H. Revercomb, N. Smith, J. Taylor, D. Tobin, E. Weisz, M. Yesalusky

Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin, Madison, WI 53706 USA

Background: Satellite, airborne, and ground-based FTS measurements have been obtained during a number of atmospheric measurement field campaigns. The operational IASI and CrIS FTS instruments aboard the Metop-A/B and Suomi-NPP satellites, respectively provide a broad spatial coverage (~ 2200 km, in the cross track direction) of radiance spectra from which the atmospheric thermodynamic and chemistry structure of the atmosphere can be defined. The high altitude (~ 20-km) aircraft SHIS and NAST-I instruments provide high spatial resolution (1–2 km, depending on altitude) within a narrow swath (~ 25 km) from which mesoscale atmospheric features can be defined. Surface-based upward looking interferometers provide high vertical resolution measurements of the Planetary Boundary Layer. Because atmospheric measurement field campaign data sets include research quality in-situ measurements, the remote sensing data obtained can be used to develop and validate remote sensing techniques that use these FTS systems independently or in combination with each other.

Dual Regression Retrieval Methodology: The Dual-regression (DR) technique retrieval algorithm utilizes physically simulated radiance based regression relations to produce atmospheric profiles and surface and cloud parameters at the full spatial resolution of the sounding spectrometer. The DR linear regression ensures the processing speed necessary for real-time applications and includes geophysical classification and threshold tests to account for the non-linear dependence of infrared radiance on moisture and clouds. The DR method utilizes the full information content of high-spectral resolution measurements (i.e., the entire FTS measured radiance spectrum is used for the retrieval). Trace gas, as well as temperature and water vapor, profiles are produced, including ozone, carbon monoxide, methane, and nitrous oxide. A physical radiative transfer solution of the surface emissivity spectrum and correction for statistical bias of the regression retrieval enable surface and atmospheric profile features to be retrieved with relatively high accuracy.

Field Experiment Results: Meteorological and atmospheric chemistry results were obtained from satellite, airborne, and ground-based FTS measurements, both individually and in

combination, from two measurement field campaigns: (1) the 2013 Suomi-NPP Airborne Calibration/Validation Campaign, and (2) the Front Range Air Pollution and Photochemistry Éxperiment (FRAPPÉ)/Deriving Information on Surface conditions from Column and Vertically Resolved Observations Relevant to Air Quality (DISCOVER-AQ) measurement campaign. This talk describes the measurement and a retrieval technique used, provides the results of validations achieved with nearly coincident in-situ atmospheric measurements, and presents a few example geophysical applications of the remote sensing observations.

Радиозатменное зондирование атмосферы Земли: методы и приложения

Горбунов М.Е. (gorbunov@ifaran.ru)
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

Принцип радиозатменного зондирования состоит в просвечивании атмосферы радиосигналами систем глобальной спутниковой навигации GPS с длинами волн около 19 и 25 см. Сигналы, прошедшие через атмосферу, принимаются специализированным приемником, расположенным на низколетящем спутнике с высотой орбиты около 700 км и периодом обращения около 2 часов. К настоящему времени был проведен ряд радиозатменных экспериментов, важнейшими из которых являются следующие: GPS/MET (1995–1997), CHAMP (2001–2009), COSMIC (с 2006), GRAS/MetOp (с 2007). В ходе радиозатменных экспериментов измеряются амплитуда и фаза радиосигналов, которые записываются и передаются на Землю для последующей обработки. По этим измерениям вычисляются вертикальные профили углов рефракции. Из профилей углов рефракции можно восстанавливать профили атмосферного показателя преломления, который является известной функцией метеопараметров: температуры, давления и удельной влажности.

Радиозатменный метод обладает следующими достоинствами: 1) всепогодность, 2) глобальное покрытие, 3) отсутствие необходимости в калибровках, 4) высокое вертикальное разрешение. Однако этот метод обладает и следующими недостатками: 1) низкое горизонтальное разрешение вследствие лимбовой схемы зондирования, 2) восстановленный профиль показателя преломления позволяет в гидростатическом приближении восстанавливать профили давления и температуры для сухой атмосферы (в тропиках выше 7 км), однако во влажной атмосфере однозначно определить метеопараметры уже нельзя. Как углы рефракции, так и профили показателя можно также использовать в схемах вариационного усвоения наблюдений в системы численного прогноза погоды. С использованием всей доступной априорной информации и других типов наблюдений это позволяет в значительной мере решить указанную выше проблему восстановления влажности.

Еще в ходе обработки первого эксперимента по радиозатменному зондированию атмосферы Земли GPS/MET в 1995–1997 г. были обнаружены эффекты многолучевого распространения. Многолучевость существенно затрудняет интерпретацию данных измерений. Для обработки данных в многолучевых областях был разработан математический подход, основанный на использовании интегральных операторов Фурье. Важным понятием для этого подхода является фазовое (лучевое) пространство и лучевое многообразие. Ситуация многолучевого распространения соответствует неоднозначности проекции лучевого многообразия на ось геометрической координаты. Интегральные операторы Фурье позволяют преобразовать измеренное волновое поле в представление других координат в фазовом пространстве так, чтобы проекция лучевого многообразия на новую координатную ось была однозначной. Интегральные операторы Фурье реализуют линейное представление комплексного волнового поля. Развитием этой техники является использование квантовой плотности Вигнера или Кирквуда. Квантовые плотности являются квадратичными представлениями волнового поля. Эти функции определены на фазовом пространстве и

являются псевдоплотностями распределения энергии, максимумы которых лежат на лучевом многообразии. Применение методов представления волновых полей позволило построить эффективные и высокоточные алгоритмы обработки радиозатменных данных, позволяющие добиваться высокого вертикального разрешения, не ограниченного величиной зоны Френеля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 14-27-00134).

Radio occultation sounding of the Earth's atmosphere: methods and applications

M.E. Gorbunov (gorbunov@ifaran.ru)
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

The principle of radio occultation (RO) sounding consists in the transillumination of the Earth's atmosphere with GPS signals with the wavelengths of about 19 and 25 cm. Signals that passed through the Earth's atmosphere are received by a specialized receiver borne by low Earth orbiter at a height of about 700 km and with a rotation period of about 2 hours. By now, a series of RO experiments has been conducted, the most important ones being the following: GPS/MET (1995–1997), CHAMP (2001–2009), COSMIC (since 2006), GRAS/MetOp (since 2007). During RO experiments, the phase and amplitude of the radio signals are measured, recorded, and downloaded to the Earth ground stations for further processing. From these measurements, vertical profiles of bending angles are retrieved. Bending profiles allow for the further retrieval of the atmospheric refractivity, which is a known function of meteorological variables: temperature, pressure, and specific humidity.

RO sounding technique has the following advantages: 1) all weather capability, 2) global coverage, 3) no necessity for calibrations, and 4) high vertical resolution. This technique has, however, the following drawbacks: 1) low horizontal resolution as a consequence of the limb observation geometry, 2) retrieved refractivity profile, together with the hydrostatic approximation, allows for the retrieval of temperature and pressure profiles in a dry atmosphere (in tropics, above 7 km); in a humid atmosphere, temperature and pressure cannot be unambiguously retrieved. Both bending angles and refractivity profiles can be utilized in schemes of the variational assimilation of observations in numerical weather prediction models. Using all available a priori information and other observation types, this, to a significant extent, solves the aforementioned problem of humidity retrieval.

Already during the processing of the data acquired in the first RO experiment, GPS/MET in 1995–1997, we revealed the effects of multipath propagation. Multipath propagation aggravates the interpretation of RO observations. For processing measurements in multipath areas, we developed a mathematical approach based on Fourier Integral Operators (FIO). An important concept in the framework of this approach is the phase space (ray space) and the ray manifold. A multipath propagation situation corresponds to a multi-valued projection of the manifold to the geometrical coordinate axis. FIOs allow for transforming the measured wave field into the representation of different coordinates in the phase space in such a way that the ray manifold projection to the new geometrical coordinate axis should become single-valued. FIOs implement a linear representation of the complex wave field. A development of this technique is the Wigner or Kirkwood quantum density. Quantum densities are quadratic representations of the wave field. They are functions defined on the phase space as pseudo-densities of energy distribution, whose maxima are located on the ray manifold. The application of the techniques based on wave field representations allowed us for developing efficient and high-precision algorithms of RO data processing, which allow for achieving the high vertical resolution beyond the Fresnel scale limitation.

This work was supported by the Russian Science Foundation (grant RSCF No. 14-27-00134).

Развитие климтической модели ИВМ РАН. Анализ динамического взаимодействия стратосферы и тропосферы по данным моделирования и наблюдений

Варгин П.Н.[1] (p_vargin@mail.ru), Володин Е.М.[2] (volodin@inm.ras.ru)
[1]Центральная аэрологическая обсерватория, ул. Первомайская *3, 141700* Долгопрудный Моск. обл., Россия
[2]Институт вычислительной математики РАН, Губкина *8, 119991* Москва, Россия

В ИВМ РАН создана версия модели климата для участия в международной программе сравнения CMIP6. Новым по сравнению с предыдущими версиями является интерактивный расчет концентрации основных аэрозолей, а также прогностический расчет балла и водности облаков. Разрешение модели составляет в атмосфере 2x1.5° по долготе и широте и 73 уровня до 60 км, в океане 0.5x0.25° и 40 уровней. Планируется включение модели динамики ионосферы, ледниковых щитов, а также создание версии климатической модели на основе существующей оперативной модели прогноза погоды ПЛАВ.

С использованием атмосферного блока этой климатической модели проанализировано воспроизведение основных динамических процессов стратосферы внетропических широт Северного полушария с 1979 г. по 2008 г. по сравнению с данными реанализа NCEP-R и Era-Interim. Использовались среднемесячные данные наблюдений температуры поверхности океана и площади морского льда. Концентрации радиационно-активных газовых составляющих CO_2, CH_4, N_2O, O_3 (для озона – трехмерные в тропосфере и среднезональные в стратосфере) и сульфатный аэрозоль задавались в соответствии с наблюдениями. Расчеты выполнены на супер-компьютере «Ломоносов» в вычислительном центре МГУ за 10 суток.

Установлено, что модель реалистично воспроизводит сезонный ход температуры и зонального ветра в стратосфере. Наибольшие различия выявлены зимой в Арктике и Антарктике, что свидетельствует о более сильном и холодном полярном вихре по сравнению с данными наблюдений. Модель реалистично воспроизводит сезонный ход, широтную структуру и значения среднезонального меридиального потока тепла. Зависимость между этим параметром в высоких северных широтах в нижней стратосфере (100 гПа) в январе–феврале и температурой полярной стратосферы (50 гПа) в феврале–марте в модельных расчетах согласуется с выявленной ранее зависимостью в данных реанализа. Анализ планетарных волн показал, что модель воспроизводит их реалистично в стратосфере обоих полушарий, но в Северном полушарии амплитуда волны с зональным числом 1 занижена на ~ 30%.

В модельных расчетах в 1979–2008 гг. в Арктике в январе–феврале выявлено 9 внезапных стратосферных потеплений (ВСП): 5 со смещением и 4 с разделением полярного вихря. За тот же период в данных наблюдений выявлено 14 ВСП (9 со смещением и 5 с разделением). Заниженное количество ВСП является проблемой для многих климатических моделей даже с хорошим описанием стратосферы. Связанные с ВСП аномалии циркуляции могут распространяться в тропосферу примерно за неделю и сохраняться там до двух месяцев. Выявлены различия в циркуляции до и после ВСП со смещением и разделением полярного вихря. Анализ композитов зимних сезонов с ВСП в модельных расчетах показал, что ВСП со смещением приводят к большему нагреву полярной средней стратосферы (на ~ 3°) и более сильному распространению аномалий циркуляции в тропосферу, чем ВСП с разделением. За месяц до ВСП со смещением отрицательные аномалии температуры до – 2° выявлены в нижней тропосфере на 850 гПа (~ 1 км) на северо-востоке Евразии, а в течение 2 месяцев после ВСП – отрицательные аномалии до – 3° над северо-восточной Евразией (кроме Чукотки), с максимальными значениями над Новой Землей, а положительные аномалии до 2° – над Гренландией, севером Канады и Чукоткой. Эти аномалии согласуются с выявленными ранее в данных наблюдений и других климатических моделей.

Выполнено при поддержке РФФИ (гранты № 13-05-01007, 12-05-00556-а), статья представлена в журнал «Известия РАН. Физика атмосферы и океана».

Development of INM climate model. Analysis of dynamical coupling of stratosphere-troposphere using modeling and observational data

Pavel Vargin[1] (p_vargin@mail.ru), Evgeny Volodin[2] (volodin@inm.ras.ru)
[1]*Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny, Moscow reg., Russia*
[2]*Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin str., 119333 Moscow, Russia*

New version of climate model was created in Institute of Numerical Mathematics to participate in the international project of model intercomparison CMIP6. The difference between new and previous version of the climate model is the interactive calculation of concentration of basic aerosols and forecast calculation of cloud's fraction and humidity. The model has the following longitude-latitude resolution: 2°×1.5° and 73 vertical levels up to 60 km in atmosphere and 0.5°×0.25° and 40 levels in ocean. It is planned that dynamics of ionosphere and ice shield will be introduced in climate model in the near future and a version of climate model on the basis of existing operational model of weather forecast SLAV will be prepared.

Analysis of realization of dynamical processes in stratosphere in the boreal extratropics over 1979–2008 was performed using the atmospheric part of the new climate model in comparison with Era-Interim and NCEP reanalysis data. Monthly observation data of sea surface temperature and sea ice were used in the modeling. Concentrations of CO_2, CH_4, N_2O, O_3 and sulfur aerosol were set according to observations. Ozone data were zonal averaged in stratosphere and zonally asymmetric in troposphere. Model run was performed using super-computer Lomonosov in Moscow State University over 10 days.

It has been shown that seasonal evolution of temperature and zonal wind in stratosphere in the model calculation are comparable with reanalysis data. The largest differences were found in Arctic and Antarctic in the winter that gave the evidence of colder and stronger polar vortex in comparison with reanalysis data. Seasonal evolution, latitudinal structure and values of zonal meridional heat flux as well as correlation between this parameter in high latitudes of the boreal lower stratosphere in January–February (100 hPa) and temperature of polar stratosphere (50 hPa) in February–March in model calculation are comparable with observations. Planetary wave activity in stratosphere is reproduced in model calculation realistically although an amplitude of wavenumber 1 in the Northern Hemisphere on about 30% is weaker.

9 major sudden stratospheric warming (SSW) were detected in the model calculation over 1979–2008, among them 5 SSWs with the shifting of the polar vortex off the Pole and 4 ones with the splitting of the polar vortex whereas 14 SSWs (9 with shifting and 5 with splitting) were observed over the same period. Note the many climate models even with good resolution of stratosphere have the same problem – lower number of SSWs in comparison with observational data. Known that related to SSW anomalies of stratospheric circulation can penetrate in troposphere over a week and observed there up to two months. The differences in circulation before and after the SSW with shifting and splitting of the polar vortex were revealed. Analysis of model composites of winter seasons with SSW showed that SSW with shifting led to slightly larger warming of the polar middle stratosphere on about 3 degrees and stronger propagation of anomalies of stratospheric circulation in troposphere than SSW with splitting. Negative temperature anomalies about 2 degrees over north-eastern Eurasia were revealed in the lower troposphere on 850 hPa (~ 1 km) one month before SSW with shifting and during two months after the SSW about 3 degrees also over the north-eastern Eurasia (with the largest anomaly over Novaya Zemlya) except Chukotka. Positive temperature anomalies up to 2 degrees were detected over Greenland, northern Canada and Chukotka. Revealed temperature anomalies are in agreement with ones detected early in the observational data and other model calculations.

Authors thank Russian Basic Research Foundation for support (№ 13-05-01007, 12-05-00556-a). The present study was accepted for publication in Russian scientific journal "Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics".

Некоторые ключевые задачи физики атмосферного аэрозоля

Горчаков Г.И. (gengor@ifaran.ru), Карпов А.В., Копейкин В.М., Бунтов Д.В.,
Титов А.А., Кузнецов Г.А., Курбатов Г.А., Серегин А.О., Соколов А.В.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

Механизм генерации аэрозоля на опустыненных территориях до сих пор недостаточно изучен. Согласно современным представлениям генерация аэрозоля на опустыненных территориях обусловлена сальтацией песчинок. Поэтому возникает необходимость детального исследования различных типов траекторий сальтирующих песчинок, включая квазигоризонтальные траектории вблизи подстилающей поверхности. При решении уравнений движения для сальтирующих песчинок следует учитывать силу Сэфмана, подъемную силу и электрическую силу. Большое значение при расчетах переноса песчинок имеет разработка моделей вертикальных профилей скорости ветра. Нуждается в дальнейшем исследовании влияние ряби на песчаной поверхности на процесс сальтации, включая явление квазипериодической изменчивости концентрации сальтирующих песчинок [1]. Результаты измерений электрических токов сальтации свидетельствуют об аномально большой электризации ветропесчаного потока [2]. Однако вариации напряженности электрического поля и величины удельного заряда песчинок [3] в ветропесчаном потоке слабо изучены.

До сих пор сильно ограничена информация о потоках аэрозоля с опустыненных территорий. Нуждаются в детальном исследовании взаимосвязи потоков аэрозоля с метеорологическими параметрами. Кроме того, крайне мало известно о вихревом выносе аэрозоля. Частицы аэрозоля в ветропесчаном потоке заряжены. Возникает вопрос о величине и знаке этих зарядов. Определяющие процессы в ветропесчаном потоке существенно нелинейны. К сожалению, эти нелинейности недостаточно изучены.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 14-05-00523).

1. Gorchakov G.I., Karpov A.V., Kopeikin V.M. et al. Study of the Dynamics of Saltating Sand Grains over Desertified Territories // *Doklady Earth Sciences*. 2013. V. 452. № 2. P. 1067–1073.
2. Gorchakov G.I., Ermakov V.I., Kopeikin V.M. et al. Electric Currents of Saltation in Windsand Flux // *Doklady Earth Sciences*. 2006. V. 410. № 7. P. 1109–1111.
3. Gorchakov G.I., Kopeikin V.M., Karpov A.V. et al. The Specific Charge of Saltation Sand Particles in Arid Territories // *Doklady Earth Sciences*. 2014. V. 456. № 2. P. 700–704.

Some key problems of the atmospheric aerosol physics

G.I. Gorchakov (gengor@ifaran.ru), A.V. Karpov, V.M. Kopeikin, D.V. Buntov, A.A. Titov,
G.A. Kuznetzov, G.A. Kurbatov, A.O. Seregin, A.V. Sokolov
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhyovskiy per., 119017 Moscow, Russia

The mechanism of the mineral aerosol generation over desertified areas is still not clearly understood. Aerosol generation process is determined by saltation. Therefore it should be studied comprehensively various types of the sand particle trajectories including quasihorizontal trajectories in the neighborhood of the underlying surface. When solving the motion equations of the saltating sand particles, the Saffman force, the uplift force and the electric force are to be account for. Development of models of the vertical wind velocity profiles is of great importance in the sand particle transfer calculations. The sand ripple influence on the saltation process deserves further investigation including the phenomenon of the quasiperiodic variability of the saltating sand concentration [1]. Results of electric current saltation measurements testify to anomalous large electrification of the windsand flux [2]. However the electric field variations and the specific charge of the sand particles [3] have not been adequately explored.

Vertical turbulent aerosol flux measurement data are limited. Relationship between aerosol fluxes and meteorological parameters needs further consideration. Besides, not much is known about vortex aerosol fluxes. Aerosol particles in the windsand flux are charged. The question arises:

What is the charge of the aerosol particles? All dominant processes in the windsand flux are nonlinear. Unfortunately, these nonlinearities are still not thoroughly investigated.

The work is supported partly by RFBR (project No 14-05-00523).

1. Gorchakov G.I., Karpov A.V., Kopeikin V.M. et al. Study of the Dynamics of Saltating Sand Grains over Desertified Territories // *Doklady Earth Sciences*. 2013. V. 452. № 2. P. 1067–1073.
2. Gorchakov G.I., Ermakov V.I., Kopeikin V.M. et al. Electric Currents of Saltation in Windsand Flux // *Doklady Earth Sciences*. 2006. V. 410. № 7. P. 1109–1111.
3. Gorchakov G.I., Kopeikin V.M., Karpov A.V. et al. The Specific Charge of Saltation Sand Particles in Arid Territories // *Doklady Earth Sciences*. 2014. V. 456. № 2. P. 700–704.

Временная и пространственная изменчивость УФ радиации и УФ ресурсов на территории Северной Евразии

Чубарова Н.Е. (natalia.chubarova@gmail.com), Жданова Е.Ю., Розенталь В.А., Полюхов А.А., Незваль Е.И.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия

На основе радиационной модели атмосферы, использующей точные методы расчета радиационного переноса, выполнены оценки разных видов биологически активной УФ радиации (БАУФР), действующей на кожу и зрение, для территории Северной Евразии с пространственным разрешением 1 градус для условий ясного неба и при средних условиях облачности. Получены количественные оценки воздействия озона, аэрозоля, альбедо поверхности, облачности, а также высоты над уровнем моря на различные виды БАУФР. Разработана эффективная параметризация, позволяющая оценивать рост УФ радиации с высотой с учетом изменения атмосферного давления, озона, аэрозоля и альбедо поверхности. Результаты расчетов показали хорошее согласие с экспериментальными данными УФ измерений в горных районах Азии.

Проведенные эксперименты позволили оценить эмпирические зависимости УФ радиации от степени затенения городской застройкой. Анализ данных измерений БАУФР на различно ориентированных поверхностях в условиях снежного покрова и при его отсутствии показал незначительный рост УФ радиации (15–25%) при измерениях в направлении на Солнце и существенное ее уменьшение при ориентации по сторонам света, что в целом соответствует модельным расчетам.

На основе данных многолетних измерений в Метеорологической обсерватории МГУ и результатов расчетов по модели УФ реконструкции оценены тренды БАУФР и показан вклад различных факторов в межгодовую изменчивость УФ радиации. Проведено сопоставление трендов УФ радиации с данными реанализа.

Получено распределение УФ ресурсов (областей УФ дефицита, УФ оптимума и УФ избыточности) по территории северной Евразии на основании специально разработанной методики [1]. Особое внимание уделялось оценке опасных доз УФ радиации, действующей на зрение. Показано, что ареалы опасных доз БАУФР этого типа наблюдаются в основном в северных и восточных районах России в весенние месяцы года. При этом происходит существенное (до 50%) сужение распространения области УФ-оптимума. По результатам исследования была разработана интерактивная программа расчета УФ радиации и УФ ресурсов (www.momsu.ru/uv/).

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ 15-05-03612.

1. Chubarova, N., Zhdanova, Ye. Ultraviolet resources over Northern Eurasia. *J. Photochem. Photobiology B: Biology*. 2013. V. 127. P. 38-51.

Temporal and spatial variability of UV radiation and UV resources over Northern Eurasia

N.Ye. Chubarova (natalia.chubarova@gmail.com), Ye.Yu. Zhdanova, V.A. Rosental', A.A. Pol'iukhov, Ye.I. Nezval'

M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia

Using accurate RT modelling we analyzed the spatial and temporal distribution of UV radiation and UV resources over the territory of Northern Eurasia with 1 resolution in clear sky and average cloudy conditions. Different types of biologically active UV radiation (BAUVR) affecting skin and inducing eye damage were under consideration. We obtained the quantitative assessments of the effects of different factors (ozone, aerosol, surface albedo, cloudiness and altitude above sea level) on various types of BAUVR. The effective parameterization of altitude UV dependence have been developed, which takes into account for the changes in atmospheric pressure, ozone, aerosol and surface albedo. Its comparison with the UV measurements in the mountainous regions of Asia showed a good agreement.

We also obtained quantitative BAUVR dependences on urban opacity according to the experimental studies. A series of UV measurements on different oriented surfaces for snow and snow-free conditions revealed a slight increase in UV radiation (15–25%) in the solar disk direction and a significant UV reduction in other directions that is in agreement with model calculations.

Using the results of long-term UV measurements at the Meteorological Observatory of Moscow State University and the UV reconstruction model we analyzed the UV trends and evaluated the contribution of different factors in UV interannual variability. In addition, the UV trends were compared witht the results of UV reanalysis.

The distribution of UV resources (UV deficiency, UV optimum and UV excess) was obtained over the territory of Northern Eurasia using a special developed method [1]. Special attention was paid to the assessments of the UV eye-damage effects. We have shown that the areas of eye-damage UV radiation dangerous for human health are observed in northern and eastern regions of Russia in spring. The account for this BAUVR significantly (up to 50%) reduces the area with UV optimum conditions. Based on the results of this study an interactive program for calculating UV radiation and UV resources has been developed (www.momsu.ru/uv/).

This work was partially supported by the RFBR project #15-05-03612.

1. Chubarova, N., Zhdanova, Ye. Ultraviolet resources over Northern Eurasia. *J. Photochem. Photobiology B: Biology*. 2013. V. 127. P. 38–51.

Арктический метан и региональный климат

Кароль И.Л. (karol@main.mgo.rssi.ru), Киселев А.А., Ивахов В.М.

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

За последние сто лет потепление в арктическом регионе происходило примерно вдвое интенсивнее, чем в среднем по земному шару. В частности, рост температуры приземного арктического воздуха за период 1950–2010 гг. составил 0.4 C в летние и 1.65 C в зимние месяцы. Одновременно зафиксированы существенное сокращение площади морских льдов и увеличение глубины и площадей протаивания «вечной» мерзлоты. Значительные перемены климатического режима открывают новые перспективы развития региона (организация регулярных перевозок по Северному морскому пути, добыча полезных ископаемых и проч.), но и выявляют серьёзные дополнительные проблемы и риски (напр., ускорение деградации «вечной» мерзлоты и расположенной на ней инфраструктуры). В этой связи комплексное изучение метана как одного из важнейших глобальных парниковых газов с источниками в регионе, в значительной мере «ответственного» за потепление климата, остается одной из наиболее актуальных задач.

В докладе представлены обзор результатов некоторых международных и российских исследований в Арктике за последние десятилетия, а также результаты мониторинга метана и сопутствующих метеорологических характеристик на российских арктических станциях Тикси, Новый Порт, Териберка. Произведен анализ полученных данных и информации из литературных источников по проблеме. Обсуждается вопрос: определяется ли эволюция современного арктического климата главным образом тем, что происходит непосредственно в Арктике, или действием внешних факторов большего масштаба, в частности, поступлением в Арктику потоков энергии из других регионов; рассматриваются пути этих поступлений в разные сезоны в Арктический регион.

Atmospheric methane and the regional climate

I.L. Karol (karol@main.mgo.rssi.ru), A.A. Kiselev, V.M. Ivakhov
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

The Arctic warming rate during the last hundred years was twice as high compared the global one. The Arctic surface air temperature increase in particular in 1950–2010 was 0.4 C in the summer and 1.65 C in winter months according to the IPCC report (2007). The significant reduction of the sea ice area and the permafrost thawing both area and depth increase are fixed simultaneously. These significant climate changes lead to new wide horizonts for regional development: the regular transport along the Arctic shore, the fossil materials excavation and others but serious additional problems and risks (e.g. various infrastructure problems due to acceleration of the permafrost degradation). Therefore the wide studies of methane as the second important greenhouse gas from regional sources responsible for the global climate warming are always actual.

The results of some international and Russian studies in the Arctic during the last decades together with some meteorological data at Russian Arctic stations – Tiksi, New Port, Teriberka – are reviewed and analysed together with some information from the scientific periodics. One of the central problems is discussed: whether the current Arctic climate evolution is due to local processes or as the result of external large scale processes, in particular the energy transport to the Arctic from other regions. The ways of these incomes in various seasons are considered.

Взаимосвязь динамики и состава атмосферы при атмосферном блокировании на европейской территории России летом 2010 г.

Ситнов С.А.[1] (sitnov@ifaran.ru), Мохов И.И.[1], Лупо А.Р.[2], Тимажев А.В.[1]
[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия
[2]*Department of Soil, Environmental and Atmospheric Sciences, University of Missouri, Columbia, USA*

На основе данных спутниковых приборов MODIS, MOPITT, OMI, MLS и AIRS исследованы изменения состава атмосферы в условиях аномально продолжительного блокирующего антициклона на европейской территории России (ЕТР) летом 2010 г. Связанные с атмосферным блокированием особенности циркуляционного режима привели к аномально жаркой, засушливой погоде и развитию природных пожаров, повлекших загрязнение атмосферы региона продуктами горения. В связи с сильным задымлением воздуха локальные (1 x1) ежедневные величины аэрозольной оптической толщи (АОТ) над ЕТР достигали 4.9 (более чем в 30 раз превышая соответствующее среднее многолетнее значение АОТ). Локальное ежедневное содержание оксида углерода в атмосферном столбе увеличивалось до 7.3 10^{18} молек/см^2 (в 3.5 раза). Над территорией наиболее интенсивных кластеров пожаров (54 –57 с.ш., 38 –48 в.д.) отмечено увеличение среднего регионального содержания формальдегида в атмосферном столбе – до 28 10^{15} молек/см^2 (более чем вдвое) и тропосферного содержания диоксида азота – до 2.3 10^{15} молек/см^2 (на 35%).

Помимо увеличений концентраций примесей, обусловленных пирогенной эмиссией, выявлены изменения состава атмосферы, связанные с особенностями региональной атмосферной динамики. В области блокирования отмечена положительная аномалия общего влагосодержания (ОВ), с локальными значениями аномалий ОВ до 13 кг/м^2 (65%), и отрицательная аномалия общего содержания озона (ОСО), с локальными величинами аномалий, достигавшими 37 Д.Е. (11%). Увеличение ОВ и уменьшение ОСО в области блокирования было связано с адвекцией обогащенного водяным паром, но обедненного озоном тропического воздуха на север ЕТР над западной и северной периферия ми блокирующего антициклона, а также с подъемом тропопаузы. Над севером ЕТР в период блокирования выявлено также увеличение содержания водяного пара и метана в нижней стратосфере. Частично уменьшение ОСО можно связать с фотохимическим разрушением озона в нижней стратосфере в каталитических реакциях озона с гидроксилом, вследствие адвекции водяного пара в область блокирования. Положительная аномалия ОВ и отрицательная аномалия ОСО в области блокирующего антициклона отмечены также в период менее продолжительного весеннего блокирования над ЕТР в 2010 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 13-05-41432_РГО, 14-05-00639_а, 15-05-07853_а).

Interplay between atmospheric dynamics and composition during atmospheric blocking episode over European Russia in the summer of 2010

S.A. Sitnov[1] (sitnov@ifaran.ru), I.I. Mokhov[1], A.R. Lupo[2], A.V. Timazhev[1]
[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky, 119017 Moscow, Russia*
[2]*Department of Soil, Environmental and Atmospheric Sciences, University of Missouri, Columbia, USA*

On the basis of data from MODIS, MOPITT, OMI, MLS, and AIRS satellite instruments the changes in the atmospheric composition during the prolonged blocking anticyclone conditions over European Russia (ER) in the summer of 2010 were studied. Associated with the block anomalous atmospheric circulation led to the disastrous heat wave, soil drought, and the development of massive wildfires, which entailed strong pollution of the regional atmosphere by burning products. Due to excessive smoke, the local (1 x1) daily aerosol optical depth over ER reached 4.9, being more than 30 times greater than the corresponding long-term mean. The local daily CO total columns increased by 3.5 times as against its long-term mean and reached 7.3 10^{18} molec/cm^2. Above the territory of most intensive wildfires (54 –57 N, 38 –48 E) the regionally averaged HCHO total column more than doubled and attained 28 10^{15} molec/cm^2, while the regionally averaged tropospheric NO_2 column increased by 35% and reached 2.3 10^{15} molec/cm^2.

Along with the increase of admixtures' contents due to pyrogenic emission, there were also the changes in the regional atmospheric composition which were conditioned by the regional atmospheric dynamics. Over the blocking area positive anomaly of total column water vapor (TCWV), with the values of local TCWV anomalies attained 13 kg/m^2 (65%), as well as, the negative anomaly of total column ozone (TCO), with local TCO anomalies reached 37 DU (11%). The TCWV increase and TCO decrease were due to the advection of tropical air (water vapor enriched but ozone depleted) to the north of ER over the western and northern peripheries of the blocking anticyclone, and also due to a rise in tropopause height. An increase in water vapor and methane in the lower stratosphere was also noted over northern ER during the block. Partially the TOC decrease could have been the result of photochemical ozone depletion in the lower stratosphere in catalytic reactions of ozone with hydroxyl radicals due to the advection of water vapor. The positive TCWV anomaly and negative TOC anomaly in the area of blocking anticyclone were also observed during the less prolonged spring episode of atmospheric blocking in 2010.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects nos. 13-05-41432, 14-05-00639, 15-05-07853).

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр ИКФС-2: результаты измерений спектров излучения атмосферы Земли

Завелевич Ф.С. (zavelevich@kerc.msk.ru), Головин Ю.М., Никулин А.Г., Козлов Д.А., Монахов Д.О., Козлов И.А.
ГНЦ «Центр Келдыша», ул. Онежская *8, 125438* Москва, Россия

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр температурного и влажностного зондирования ИКФС-2 предназначен для измерения спектров исходящего излучения атмосферы Земли и решения на их основе оперативных задач гидрометеорологического обеспечения. Прибор ИКФС-2 совместно разработан ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» (головной разработчик), Красногорским заводом им. С.А. Зверева и НИИ ИСУ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аппаратура ИКФС-2 обеспечивает формирование спектров атмосферы Земли и подстилающей поверхности в диапазоне спектра от 5 до 15 мкм (от 660 до 2000см$^{-1}$) со спектральным разрешением 0.4 см$^{-1}$ в полосах обзора от 1000 до 2500 км с пространственным разрешением в надире не более 30 км. Фурье-спектрометр ИКФС 2 состоит из оптико-механического блока, устанавливаемого в открытом космосе на приборной платформе космического аппарата, и модуля электроники, располагаемого в герметичном отсеке.

Оптико-механический блок включает в себя три модуля:

модуль сканера, предназначенный для сканирования полосы обзора и наведения на опорные источники излучения (бортовое черное тело и космос) при проведении калибровочных измерений;

модуль интерферометра, представляющий собой пыле-влаго-непроницаемую конструкцию и обеспечивающий формирование интерференционного сигнала как функции оптической разности хода между ветвями интерферометра;

двухступенчатый радиационный холодильник, предназначенный для обеспечения температурного режима фотоприёмного устройства при эксплуатации прибора на орбите. Радиационный холодильник оснащен нагревателями для периодической очистки ступеней и фотоприемника от криоосадка.

В качестве приемника излучения используется фоторезистор на основе соединения кадмий-ртуть-теллур.

Модуль электроники предназначен для управления работой прибора, приема команд от космического аппарата и их выполнения, предварительной обработки полученных прибором данных, формирования пакетов научной и служебной информации и передачи их в память космического аппарата.

Запуск космического аппарата «Метеор-М» №2 с фурье-спектрометром ИКФС-2 состоялся 8 июля 2014 г. В период летных испытаний были подтверждены работоспособность и заданные технические характеристики ИКФС 2 в реальных условиях эксплуатации (спектральное разрешение, пороговые характеристики, погрешность измерения спектральной плотности энергетической яркости).

Spaceborne Fourier transform infrared spectrometer IKFS-2: the results of measurements of atmosphere spectra

F. Zavelevich (zavelevich@kerc.msk.ru), Yu. Golovin, A. Nikulin, D. Kozlov, D. Monakhov, I. Kozlov

SSC «Keldysh Research Centre», 8 Onezskaya str., 125438 Moscow, Russia

Spaceborne Fourier-transform infrared spectrometer IKFS-2 collects upwelling infrared radiance data and provides very accurate data about the atmosphere, land and oceans for applications to weather predictions and climate studies. IKFS-2 instrument was developed by Keldysh Research Center (head developer), Krasnogorsky zavod and Bauman Moscow State Technical University. Fourier-transform spectrometer IKFS-2 covers the spectral range from 665 to 2000 cm^{-1}. The spectral resolution is 0.4 cm^{-1}. The IKFS-2 swath (length of ground measurement track) can be changed from 1000 km to 2500 km. The spatial resolution is approximately 30 km at sub-satellite point. IKFS-2 instrument consists of optomechanical unit, installed in the open space on the instrument platform of the spacecraft, and the electronics unit located in pressurized module. Optomechanical unit includes three modules:

scanner module is designed to scan swath and point to the radiation sources (on-board blackbody and space) during the calibration measurements;

interferometer unit ensures the creation of the interference signal as a function of the optical path difference between the branches of the interferometer;

two-stage passive cooler is designed to provide cryogenic temperature of photodetector (MCT photoconductive detector) in orbit. Passive cooler is equipped with heaters for periodic outgassing.

The electronics module is designed to control the operation of the instrument, receiving commands from the spacecraft and their implementation, pre-processing of the data unit, forming a package of scientific and service information, and transfer them to the memory of the spacecraft.

The IKFS-2 instrument was launched on board the Meteor-M2 satellite from Baikonur on the 8th of July 2014. During flight tests specified performances IKFS-2 were confirmed (spectral resolution, noise equivalent spectral radiance, measurement error of spectral radiance).

IRFS-2/Meteor-M N 2 measurements analysis

A.V. Polyakov[1], Ya.A. Virolainen[1], Yu. M. Timofeyev[1], A.B. Uspensky[2], A.N.Rublev[2], A.V. Kukharsky[2], Yu.M. Golovin[3], F.S. Zavelevich[3], D.A .Kozlov[3]

[1]Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

[2]State Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

[3]SSC «Keldysh Research Centre», 8 Onezskaya str., 125438 Moscow, Russia

Fourier-transform spectrometer IRFS-2 is currently being flown onboard new Russian Meteor-M № 2 satellite. The measuring range is defined as 5–15 m with the spectral resolution of 0.7-1.4 cm^{-1}(after apodization).

In order to assess the reliability of measured IR spectra a number of comparisons were performed with the simulated data for cloud-free conditions. A LBL Radiative transfer code was used for the modeling of the measured spectra. Comparisons were performed for the 8–12 m range and various absorption bands of atmospheric gases (CO_2, O_3, etc.). The observed discrepancies between real and simulated spectra are analyzed. Retrieval algorithms for various parameters including temperature and humidity profiles, total amount of some of the atmospheric gases (CO_2,CH_4 O_3, etc.) are described. The validation of those products was performed by comparison with radiosonde, ozonosonde and NWP data, as well as various sub-satellite measurements.

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр ИКФС-2: сопоставление результатов измерений с данными ИК-каналов SEVIRI

Козлов Д.А.[1] (dima_kozlov@mail.ru), Головин Ю.М.[1], Завелевич Ф.С.[1], Козлов И.А[1], Успенский А.Б.[2], Рублев А.Н.[2], Козлов А.А.[2], Киселева Ю.В.[2]

[1]ГНЦ «Центр Келдыша», ул. Онежская *8, 125438* Москва, Россия

[2]НИЦ "Планета", Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр температурного и влажностного зондирования ИКФС-2 предназначен для измерения спектров исходящего излучения атмосферы Земли и решения на их основе оперативных задач гидрометеорологического обеспечения. Прибор обеспечивает измерение спектров атмосферы Земли и подстилающей поверхности в диапазоне от 5 до 15 мкм (660–2000 см$^{-1}$) со спектральным разрешением 0.4 см$^{-1}$ (без аподизации) в полосе обзора от 1000 до 2500 км с пространственным разрешением в надире 30 км.

В период летных испытаний были проведены работы по подтверждению заданных технических характеристик ИКФС 2 в реальных условиях эксплуатации. Для оценки погрешности радиометрической калибровки проведено сопоставление результатов измерений прибора ИКФС-2 с данными независимых измерений (радиометр SEVIRI спутника Meteosat-10). Методика основана на сравнении измерений двух приборов (ИКФС-2 и SEVIRI), совмещенных по времени, географическим координатам и углу визирования. При этом: а) погрешность совмещения измерений по времени не превышала 10 мин.; б) рассматриваемый регион съемки заключался в пределах ± 5 по широте и долготе относительно подспутниковой точки Meteosat-10 (0°,0°, Гвинейский залив); в) выбирались такие измерения ИКФС-2, для которых зенитный угол спутника не превышает 5 ; г) использовались как ночные, так и дневные измерения.

Для каждого спектра ИКФС-2, удовлетворяющего условиям совмещения, вычислялась свертка с функцией спектральной чувствительности канала SEVIRI. После чего полученное значение сравнивалось с измеренной эффективной яркостью SEVIRI, усредненной по полю зрения ИКФС-2. Сопоставления проводились для 6 инфракрасных каналов SEVIRI (7.3, 8.7, 9.7, 10.3, 12.0 и 13.4 мкм). Полученные результаты удовлетворяют требованиям к точности радиометрической калибровки аппаратуры ИКФС-2, а также позволяют провести дополнительную радиометрическую коррекцию.

Infrared Fourier-transform spectrometer IKFS-2: intercalibration with infrared channels of SEVIRI imager

D. Kozlov[1], Yu. Golovin[1], F. Zavelevich[1], I. Kozlov[1], A. Uspensky[2], A. Rublev[2], A. Kozlov[2], Yu. Kiseleva[2]

[1]*SSC «Keldysh Research Centre», 8 Onezskaya str., 125438 Moscow, Russia*

[2]*State Research Centre of Space Hydrometeorology “Planeta”, 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

The spaceborne infrared Fourier-transform spectrometer IKFS-2 is dedicated to temperature and humidity sounding of the atmosphere for hydrometeorological needs. The instrument provide measurements of the atmosphere spectra in 5–15 m (660–2000 cm^{-1}) spectral range with spectral resolution of 0.4 cm^{-1} (without apodization), swath width of 1000–2500 km and instantaneous FOV of 30 km (for nadir).

During the flight test activities were conducted to confirm the required technical characteristics under space conditions. The intercalibration routine was initiated to compare collocated measurements of IKFS-2 with infrared channels of SEVIRI imager on Meteosat-10. The method is based on comparison of collocated observations from two instruments during simultaneous near-nadir overpasses of their satellites (GEO-LEO). The following collocation

criteria, based on those recommended by GSICS, were used: a) time difference between observations less than half of Meteosat's repeat cycle; b) the surface incidence angle from IKFS-2 to be no more than 5° from zenith; c) the region of interest is within ± 5° of latitude and longitude with respect to Meteosat's sub-satellite point (0°,0°); d) both night-time and day-time data are used.

The radiance spectrum measured by IKFS-2 for each iFoV is convolved with the Spectral Response Function (SRF) of each SEVIRI channel to allow direct comparison of their radiances. To ensure both instruments sample comparable spatial scales, the Meteosat pixels within the nominal area of each IKFS-2 iFoV are averaged (10x10 pixels are used). The variances of these pixels' radiances are also calculated to estimate the uncertainty due to spatial variability. The comparison was performed for six infrared channels of SEVIRI (7.3, 8.7, 9.7, 10.3, 12.0 and 13.4 m). The obtained results satisfy the requirements for IKFS-2's radiometric calibration, as well as allow implementation of additional radiometric correction.

Seasonal variation and distribution feature of CO_2 concentrations in Tokyo city retrieved from GOSAT and in situ data

R. Imasu[1] (imasu@aori.u-tokyo.ac.jp), Y. Arai[1], Y. Tanabe[1], Y. Someya[1], N. Saitoh[2], H. Kondo[3], K. Shiomi[4], and B. Fomin[5]

1Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba 277-8568, Japan

2Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University, Japan

3National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan

4Earth Observation Research Center (EORC)/Japan Aerospace eXploration Agency(JAXA), Japan

5Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny, Moscow reg., Russia

The Greenhouse gases Observing Satellite (GOSAT) is a joint mission of the Japanese Ministry of the Environment (MOE), the National Institute for Environment Studies (NIES), and the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), which is dedicated to observation of CO_2 and CH_4 concentrations from space. The main sensor of the satellite, TANSO-FTS, has been operated normally for more than the expected lifetime of five years, and global distribution features and trends of these greenhouse gases have been observed by the sensor.

The most important objective of the mission is to reduce the estimation errors of the source/sink inversion of CO_2 in a sub-continental scale, and it is mostly achieved by use of GOSAT data as inputs to the inversion system based on global scale transport models. Another important target of the project is to obtain the data for constraining the emission strength of CO_2 from a mega-sized city, Tokyo. For this purpose we have developed a Local ensemble transform Kalman filter/smoother (LETFK/KS) system based on a regional CO_2 transport model, AIST meso-scale model (AIST-MM). In order to obtain the input data for the system, GOSAT specific observations over Kanto Plain including Tokyo city area with the targeting mode of TANSO-FTS have been conducted from November 2010, and more than 1500 observations have been carried out up to the end of April 2014.

However the number of data which can be used for the filtering/smoothing analyses is restricted because of the limitation of sampling frequency of the sensor as well as the clear sky opportunity. Furthermore, even the synergy of the daytime measurements of XCO_2 with SWIR band and upper air concentration of the nighttime retrieved from TIR band is not enough for constraining CO_2 emission from the city because the various types of emission sources have diurnal variation and transport speed of the air is generally too fast to keep emitted CO_2 in the city area. Administrative offices or research institutes of local governments have observation sites for monitoring air quality and concentrations of greenhouse gases. In the Kanto Plain area there are five observatories at which CO_2 measurements have been operated for more than ten years and hourly data are available at all sites. We are provided with these data from local governments and evaluated their measurement accuracy for use as inputs to the filtering/smoothing system after some quality control procedures. Some of the data show the characteristics of urban emissions and some

show local emission features. It is found that the synergy of the in situ measurements and GOSAT data can more effectively constrain the CO_2 emissions from big cities. In my talking, present status of GOSAT and GOSAT-2 projects would be also briefly reviewed.

The diurnal cycle of high clouds from a synergy of space-borne infrared sounders

A.G. Feofilov (artem.feofilov@lmd.polytechnique.fr), C.S. Stubenrauch, and R. Armante
Laboratoire de Meteorologie Dynamique, IPSL/CNRS, Ecole Polytechnique, France

Clouds play an important role in the energy budget of the planet: optically thick clouds reflect the incoming solar radiation leading to cooling of the Earth while thinner clouds act as “greenhouse films” preventing escape of the Earth’s infrared (IR) radiation to space. Representing about 40% of the Earth’s total cloud cover, high-altitude clouds play a crucial role in the climate system by modulating the Earth's energy budget and heat transport in the upper troposphere.

Satellite observations provide a continuous survey of clouds over the whole globe and IR sounders have been observing our planet since 1979. The spectral resolution has strongly improved from the TIROS-N Operational Vertical Sounders (TOVS) onboard the NOAA polar satellites to the Atmospheric InfraRed Sounder (AIRS) onboard Aqua (since 2002) and to the InfraRed Atmospheric Sounding Interferometers (IASI) on board the METOP (since 2006). Their spectral resolution along the CO_2 absorption band makes IR sounders most sensitive to cirrus, day and night. In addition, they provide atmospheric temperature and water vapour vertical distribution, surface temperature, and dust aerosol properties.

In this work, we use a cloud retrieval developed at LMD, which is based on a weighted $_2$ method. We present the diurnal variation of cloud cover, emissivity, pressure, temperature, and height from the AIRS (01:30, 13:30 local time observations) and IASI (09:30 and 21:30) measurements. We discuss the results obtained in different geographic areas, over land/ocean, and for different seasons in 2009.

Радиометр МТВЗА-ГЯ на спутнике МЕТЕОР-М № 2: первые 10 месяцев на орбите, калибровка данных и восстановление геофизических параметров

Митник М.Л.[1] (mitnik@poi.dvo.ru), Чёрный И.В.[2], Митник Л.М.[1], Чернявский Г.М.[2], Кулешов В.П.[1], Баранюк А.В.[1]
[1]Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская *43, 690041* Владивосток, Россия
[2]НТЦ "Космонит" ОАО "Российские космические системы", Профсоюзная *84/32, 117997* Москва, Россия

Метеорологический спутник Метеор-М №2 с 29-канальным сканирующим СВЧ радиометром МТВЗА-ГЯ на борту был запущен на солнечно-синхронную круговую орбиту высотой 830 км 8 июля 2014 г. МТВЗА-ГЯ с апертурой антенны 0.6 м сканирует Землю по конусу под углом $\theta = 65$ к местной нормали. Данные МТВЗА-ГЯ предназначены для определения характеристик подстилающей поверхности и атмосферы. Восстановление вертикальных профилей температуры и влажности воздуха выполняется по измерениям в областях поглощения кислорода (52–58 ГГц) и водяного пара (175–190 ГГц) (зондировщик), а характеристик поверхности и интегральных параметров атмосферы – на частотах ν в диапазоне 10–92 ГГц, где поглощение атмосферы меньше (сканер). Зондирование под углом $\theta = 65$ ранее из космоса не проводилось, частоты $\nu = 42.0$ и 48.0 ГГц также являются новыми. Внутренняя калибровка каналов МТВЗА-ГЯ на борту спутника проводится по излучению согласованной горячей нагрузки, температура которой $T_{гор} \approx 300$ К определяется по показаниям четырех термодатчиков и холодному космическому излучению с $T_{хол} \approx 2.73$ К,

принимаемому малой антенной калибровки. В орбитальных условиях чувствительность каналов сканера составляет 0.3–0.5 К/пиксель для приведенного пикселя изображения 32x32 км, зондировщика влажности – 0.5–0.8 К/пиксель и зондировщика температуры – 0.3–0.4 К/пиксель (тропосферные каналы) и 0.5–1.7 К/пиксель (стратосферные каналы) для приведенного пикселя изображения 48x48 км. Зондирование при $\theta = 65$ обеспечивает потенциальную полосу обзора $L \geq 2000$ км, однако, затенение рабочего сектора солнечными панелями спутника позволило реализовать полосу 1500 км, что будет учтено при разработке перспективных аппаратов Метеор-МП. Для внешней калибровки радиометра служат расчетные значения яркостных температур $T_{ЯГ,В}(\nu)$ на горизонтальной (г) и вертикальной (в) поляризациях над тропическими лесами Амазонки и холодными районами полярного океана. $T_{ЯГ,В}(\nu)$ находились путем численного интегрирования уравнения переноса излучения в системе подстилающая поверхность-атмосфера. Входными данными служили показания радиозондов, коэффициенты излучения леса, температура поверхности океана, скорость приводного ветра.

Критерии для автоматизированного выбора из данных измерений (антенных температур $T_{антГ,В}(\nu)$ или отсчетов) участков, пригодных для внешней калибровки, были определены при анализе расчетных $T_{ЯГ,В}(\nu)$, полученных при вариациях характеристик поверхности и атмосферы. Общим требованием для калибровочных участков является отсутствие облачности и осадков, индикатором которых над лесами Амазонки служит понижение $T_{антГ,В}(\nu)$ относительно безоблачных областей, а над океаном – повышение $T_{антГ,В}(\nu)$. Контраст обычно увеличивается с ростом частоты. Участки над океаном должны также характеризоваться слабым ветром и малыми значениями паросодержания атмосферы. На основе модельных значений $T_{ЯГ,В}(\nu)$ были определены комбинации каналов, измерения на которых обеспечивают выделение калибровочных участков, удовлетворяющих выработанным критериям. По спутниковым измерениям $T_{антГ,В}(\nu)$ и расчетным $T_{ЯГ,В}(\nu)$ на калибровочных участках были найдены коэффициенты линейной регрессии для каналов сканера.

В докладе приведены примеры глобальных полей $T_{ЯГ,В}(\nu)$ в меркаторской и полярных проекциях, циклонических образований над океаном на различных широтах, морских льдов, вариаций коэффициентов излучения и температуры поверхности материковых покровов. Для определения паросодержания атмосферы, водозапаса облаков и скорости приводного ветра над океаном применены алгоритмы, разработанные по модельным $T_{ЯГ,В}(\nu)$. Восстановленные поля сопоставлены с данными зондирования с других спутников и показаниями радиозондов. Для оценки кратковременной (день–ночь) и долговременной (месяцы) изменчивости калибровки разработана программа автоматизированного выбора калибровочных участков на витках, пересекающих леса Амазонки и полярные области Атлантического и Тихого океана. В докладе приведены результаты обработки данных МТВЗА-ГЯ за август 2014–январь 2015 г.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта ДВО РАН 15-I-1-009 о.

The MTVZA-GYa radiometer on the METEOR-M No. 2 satellite: the first 10 months in an orbit, calibration of data and retrieval of geophysical parameters

L.M. Mitnik[1] (mitnik@poi.dvo.ru), I.V. Cherny[2], M.L. Mitnik[1], G.M. Chernyavskii[2], V.P. Kuleshov[1], A.V. Baranyuk[1]

[1]*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, 43 Baltiyskaya str., 690041 Vladivostok, Russia*

[2]*Scientific-Technological Center “Kosmonit”, JSC “Russian Space Systems", 84/32 Profsoyuznaya str., 117997 Moscow, Russia*

The meteorological Meteor-M No. 2 satellite with the 29-channel scanning microwave radiometer MTVZA-GYa onboard was launched into a solar-synchronous circular orbit of the 830 km altitude on July 8, 2014. MTVZA-GYa with an aperture of the antenna of 0.6 m scans the Earth on a cone at the incidence angle $\theta = 65$ to a local normal. Data of MTVZA-GYa are intended

for estimate of characteristics of the underlying surface and the atmosphere. Sounder channels are used for the retrieval of vertical profiles of air temperature and humidity by measurements in areas of oxygen (52–58 GHz) and water vapor (175–190 GHz) absorption. MTVZA-GYa scanner channels with frequencies ν in the range of 10–92 GHz serve for retrieval of characteristics of the surface and integrated atmospheric parameters. Sounding at the angle of θ = 65 was not carried out from space earlier, frequencies of ν = 42.0 and 48.0 GHz are also new. Internal calibration of the MTVZA-GYa channels onboard the satellite is performed by measurement of the radiation of the reference hot load with temperature $T_{hot} \approx 300$ K determined by four thermal sensors, and the cold space radiation with $T_{cold} \approx 2.73$ K received by the small antenna. In orbital conditions, the scanner channels sensitivity is 0.3–0.5 K/pixel (pixel size 32x32 km). The sensitivity of sounder channels is 0.5–0.8 K/pixel for humidity channels and 0.3–0.4 K/pixel for troposphere temperature channels and 0.5–1.7 K/pixel for stratosphere temperature channels (pixel size 48x48 km). Scanning at θ = 65 provides the potential strip width $L \geq 2000$ km, however, the shadowing of the working sector by spacecraft solar panels limited width to $L =$ 500 km only. The wide strip will be realized on the perspective satellite Meteor-MP. For external calibration of the radiometer, the simulated brightness temperatures $T_{BV,H}(\nu)$ with horizontal (H) and vertical (V) polarization over Amazon rainforests and cold areas of the polar Ocean were used. $T_{BV,H}(\nu)$ were found by the numerical integration of the radiative transfer equation in the underlying surface-atmosphere system. Vertical profiles of atmospheric pressure, temperature and humidity measured by radiosondes, the forest emissivities, sea surface temperature and wind speed served as input data.

Criteria for the automated selection from the measured data (from antenna temperatures $T_{antV,H}(\nu)$ or counts) the sites suitable for external calibration were determined by analysis of the $T_{BV,H}(\nu)$ obtained under variations of the underlying surface and the atmosphere parameters. A common requirement for calibration areas is the lack of heavy clouds and precipitation. The $T_{antV,H}(\nu)$ decrease over forest areas and the $T_{antV,H}(\nu)$ increase over ocean areas relative to cloud-free areas are indicators of the unfavorable conditions. The $T_{antV,H}(\nu)$ contrasts usually increases with frequency. Ocean calibration areas should also be characterized by weak winds and low values of total atmospheric water vapor content. Based on the simulated $T_{BV,H}(\nu)$, the combination of MTVZA-GYa channels at different frequencies and polarizations which provide the selection of the calibration areas fulfilling the criteria was determined. Satellite-measured $T_{antV,H}(\nu)$ and the simulated $T_{BV,H}(\nu)$ for the calibration areas allowed to determine linear regression coefficients for the MTVZA-GYa scanner channels.

The report provides examples of global $T_{BV,H}(\nu)$ fields in the Mercator and polar projections and fragments of global measurements showing cyclonic formations over the ocean at high, moderate and low latitudes; variations of the sea ice characteristics and the land surface temperature and emissivity. The first version of the algorithms developed was used to retrieve the integrated atmosphere parameters: the water vapor content and cloud liquid water content as well as the wind speed over the ocean. Recovered fields are compared with data taken by other remote sensing satellites and radiosonde reports. The sofware was developed for the automated selection of calibration areas on orbits crossing the Amazon forests and polar regions in the Atlantic and the Pacific Oceans with little difference in time to evaluate the short-term (day–night) and long-term (within a few months) changes in calibration (in coefficients of linear regression). The report presents the results of MTVZA-GYa data processing for August 2014–January 2015.

The work was partially supported by a grant FEB RAS 15-I-1-009 o.

Пространственные и угловые характеристики микроволнового излучения осадков при наблюдении из космоса

Илюшин Я.А.[1,2] (ilyushin@phys.msu.ru), Кутуза Б.Г.[2]
[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия
[2]Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. акад. Б.А. Введенского *1*, *141190* Фрязино, Моск. обл., Россия

В работе обсуждаются вопросы формирования и регистрации пространственного и углового распределения теплового радиоизлучения дождевых осадков в микроволновом диапазоне. Проводится численное моделирование переноса теплового радиоизлучения в трехмерной дождевой ячейке при различной интенсивности осадков с учетом несферической формы падающих дождевых капель и распределения их по размерам. Выявлена роль трехмерной неоднородности полей дождевых осадков в формировании поля их собственного теплового радиоизлучения в микроволновом диапазоне.

Целью настоящей работы являются теоретические оценки интенсивности и поляризации теплового радиоизлучения дождевых осадков при наблюдении их микроволновыми радиометрами из космоса. Для достижения поставленных целей требуется решение ряда конкретных задач, в т.ч. оценка радиационных свойств среды (дождя), построение численной модели переноса излучения в трехмерной дождевой ячейке и практическая реализация расчетов по построенной модели. Последняя задача, вследствие вычислительной трудоемкости расчета, на сегодняшний день является практически нерешенной и составляет основную часть представленной здесь работы.

В работе проведены расчеты радиационных свойств дождевой атмосферы на длинах волн 3, 8, 15.4 и 22 мм в зависимости от интенсивности дождя. Представлены результаты расчетов первого и второго компонентов вектора Стокса яркостной температуры дождевой ячейки в диапазоне миллиметровых волн. Насколько известно авторам работы, подобные расчеты ранее не проводились и в настоящей работе проводятся впервые. Проведено компьютерное моделирование теплового излучения дождевой ячейки путем прямого численного решения векторного уравнения переноса поляризованного излучения (ВУПИ). Показано, что поляризационные эффекты, описываемые вторым компонентом вектора Стокса, проявляются в ячейке дождя. В настоящей работе исследуются и сравниваются между собой две модели дождевой атмосферы: изолированная ячейка и сплошной плоский слой среды, равномерно заполненной падающими дождевыми каплями. Впервые оценена неравномерность углового и пространственного распределения интенсивности уходящего теплового излучения дождя, связанная с трехмерной ячеистой структурой дождевого поля.

Впервые получены интегральные оценки проявления указанных эффектов в радиометрических наблюдениях дождевых полей из космоса. Впервые показана несостоятельность радиационной модели плоскослоистой среды как теоретической основы микроволновой радиометрии дождевых осадков. Полученный материал может представлять интерес при интерпретации спутниковых СВЧ радиометрических измерений осадков.

Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ 13-02-12065 офи-м "Фундаментальные задачи микроволнового дистанционного зондирования Земли из космоса"и 15-02-05476 «Разработка новых методов и средств метеорологического радиолокационного зондирования атмосферных осадков в миллиметровом диапазоне». Авторы благодарят администрацию НИВЦ МГУ им. М.В.Ломоносова за предоставленные ресурсы суперкомпьютеров СКИФ-ГРИД "Чебышев" и "Ломоносов”.

Spatial and angular features of the microwave radiation field of atmospheric precipitation observed from space

Ya.A. Ilyushin[1,2] (ilyushin@phys.msu.ru), B.G. Kutuza[2] (kutuza@mail.cplire.ru)
[1]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Physical Faculty, 1 Vorobyevy Gory, 119992 Moscow, Russia*
[2]*V.A. Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, 11-7 Mokhovaya st., 125009 Moscow, Russia*

Theoretical assessments of the intensity and polarization of thermal radiation of the rain, registered by space-borne microwave radiometers, are the goal of this paper. The questions of the formation and registration of spatial and temporal distribution of microwave thermal radiation of the raining atmosphere are discussed. Thermal radiation of the three-dimensional rain cell is simulated numerically for realistic size distributions of non-spherical falling raindrops. The governing role of the three-dimensional inhomogeneity of the precipitating atmosphere and its cell structure in formation of the microwave thermal radiation field is shown.

Microwave radiative properties of the rain have been evaluated from rigorous electromagnetic scattering calculations at the wavelengths 3.8, 15.4 and 22 mm. Thermal microwave radiation of rain cell has been simulated by numerical solution of three-dimensional vectorial radiative transfer equation. Obtained results reveal the fact that upwelling thermal radiation of the cubic rain cell with oriented non-spherical raindrops, observable form the space, is pronouncedly polarized. Angular distributions of the averaged radio brightness temperature from the whole observed surface, registered by the remote sensor, approaches to the corresponding distribution for the uniform rain slab model. However, the polarization degree of thermal radiation of the rain cell is notably lower that for the slab medium. Thus, the governing role of the cell structure of the rain atmosphere in the formation of polarization features of thermal microwave radiation field is established. In addition, the importance of three-dimensional radiative transfer models for simulation and analysis of thermal radiation of realistic rain fields is also shown. The results show that the polarization features of the rain cell thermal radiation, typical for rain precipitation, are observed for all the studied wavelength, in particular, at the longest one (22 mm), where the raindrops can be well approximated by infinitesimal anisotropic dipole scatterers.

Compared to the uniform slab medium model, a rain cell has its own specific signatures in its microwave thermal radiation. In particular, difference of radio brightness temperatures at vertical and horizontal polarizations (the 2nd Stokes parameter Q) in the three-dimensional model is relatively less pronounced, than for the slab medium. Thus, simulation results prove the key importance of three-dimensional inhomogeneity of real precipitating atmosphere in the formation of thermal radiation, registered by space borne remote sensing instruments.

The study is partially supported by the Russian Fundamental Research Fund with the grant 13-02-12065 ofi-m "Fundamental problems of the microwave remote sensing of the Earth from space" and 15-02-05476 "Development of new methods and techniques for meteorolgical radar sounding of atmospheric precipitation in the millimeter wave band". The author thanks the the administration of the Scientific Research Computing Center of the Moscow State University for granting the access to the computational resources of the parallel computing system SKIF-GRID "Tchshebyshev".

Динамика высотных струйных течений по данным спутниковых измерений

Нерушев А.Ф. (nerushev@rpatyphoon.ru), Ивангородский Р.В.
НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Россия

Высотные струйные течения – неотъемлемый и очень важный элемент общей циркуляции атмосферы. Скорость ветра в них может превышать 100 м/с. Струйные течения (СТ) влияют на пространственное распределение газового состава атмосферы, генерируют внутренние гравитационные волны и влияют на их распространение. С ними связывают проявление аномальных погодных явлений. Знание реального положения СТ и его

характеристик важно для решения ряда практических задач, в частности, для определения безопасных зон полетов в верхней тропосфере. Удобным инструментом изучения структуры и эволюции СТ является информация, получаемая с геостационарных метеорологических спутников Земли.

В работе на основе обработки результатов измерений радиометра SEVIRI в канале водяного пара 6.2 мкм европейских геостационарных метеорологических спутников Meteosat-9 и Meteosat-10 за период 2012–2015 гг. исследована изменчивость характеристик СТ на разных временных масштабах. Для нахождения СТ используется вычисление поля горизонтальной скорости ветра в верхней тропосфере по перемещениям атмосферных трассеров – неоднородностей концентрации водяного пара. Вычисления проводятся для всего видимого диска Земли в области 60 ю.ш.– 60 с.ш., 60 з.д.– 60 в.д. в узлах сетки с шагом 10 пикселов по трем последовательным снимкам, разделенным временным интервалом 15 мин. После получения поля горизонтальной скорости ветра с шагом по времени 1 ч происходит автоматический поиск зон струйных течений (областей с горизонтальной скоростью ветра большей или равной 30 м/с) и определение их характеристик. Алгоритм поиска, заключающийся в проверке выполнения ряда критериев, изложен в [1]. Определяются следующие характеристики СТ: площадь, максимальная скорость ветра, широта и долгота центра области СТ, максимальный градиент горизонтальной скорости ветра на циклонической (Gc) и антициклонической (Ga) сторонах СТ, а также эффективное время «жизни» СТ. Под эффективным временем жизни понимается промежуток времени, в течение которого сохраняются в определенных пределах некоторые интегральные характеристики СТ.

На основе анализа результатов вычислений выявлены преимущественные зоны локализации СТ в северном и южном полушариях видимой со спутников области Земного шара, четко выраженный внутригодовой ход количества СТ, их характерного времени «жизни», идентичность межсезонной изменчивости рассматриваемых характеристик в обоих полушариях. Получены количественные данные об асимметрии профиля горизонтальной скорости ветра в СТ. Показано, что в северном полушарии среднемесячные значения Gc превышают Ga в 1.1–1.8 раз. Исследованы статистические связи между упомянутыми характеристиками СТ, предлагается их физическое обоснование. Выявлены характерные гармонические колебания количества СТ и ряда их характеристик с периодами от 1 года до нескольких суток.

1. Ивангородский Р.В., Нерушев А.Ф. Характеристики струйных течений верхней тропосферы по данным измерений европейских геостационарных метеорологических спутников// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 45-53.

Dynamics of upper jet fluxes inferred from satellite measurements

A.F. Nerushev (nerushev@rpatyphoon.ru), R.V. Ivangorodsky
Research and Production Association “Typhoon”, 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia

Upper jet fluxes are an integral and very important element of the atmospheric general circulation. Wind speed in them can exceed 100 m/s. Jet fluxes (JF) effect the spatial distribution of atmospheric gas composition, generate inner gravitational waves and affect their propagation. These fluxes are connected with anomalous weather. The knowledge of the JF real state and their characteristics is important for solving several practical problems, in particular, in determining safe zones of flights in the upper troposphere. A suitable tool for studying JF structure and evolution is the information obtained from geostationary meteorological Earth’s satellites.

The paper studies JF variability on different temporal scales is studied on the basis of processing the measurement results from radiometer SEVIRI (onboard the European meteorological satellites Meteosat-9 and Meteosat-10) in the water vapor channel (6.2 m) during 2012–2015. For locating JF, the horizontal wind field speeds in the upper troposphere are computed based on the motion of atmospheric tracers – heterogeneities in water vapor concentrations. The computations

are made for the whole visible disk of the Earth in the range of 60 S–60 N, 60 W–60 E in the nods of the net with a step of 10 pixels over three successive images with a 15-min time interval. When a field of wind horizontal speed is obtained with a step in time of 1 hr, an automatic retrieval starts for the jet flux zones (regions with a horizontal wind speed higher or equal to 30 m/s) and the determination of its characteristics. An algorithm of the retrieval consisting of verification of several parameters is presented in [1]. The following JF characteristics are determined: surface area, maximum wind speed, latitude and longitude of JF center region, maximum gradient of horizontal wind speed at the cyclonic (Gc) and anticyclonic (Ga) sides of JF and also the effective JF lifetime. The effective lifetime means the time period during which some integral characteristics of a JF are sustained within certain limits.

On the basis of computation results, the analysis has revealed the most frequently located JF zones in the Northern and Southern Hemispheres of the Earth region seen from satellites, distinctly defined intraannual course of JF number, their typical lifetime, the identity of inter-seasonal variability of characteristics under consideration in both Hemispheres. Quantitative data on asymmetry of the horizontal wind speed profile in a JF were obtained. It is shown that in the Northern Hemisphere mean monthly values of Gc exceed Ga by 1.1–1.8 times. Statistical connections between the above-mentioned JF characteristics are studied. Their physical substantiation is proposed. Typical harmonic fluctuations of JF number and of some their characteristics with the periods from one year to several days are revealed.

1. Ivangorodsky R.V., Nerushev A.F. Characteristics of jet fluxes of the upper troposphere inferred from the measurements of European geostationary meteorologicall satellites // *Current Problems in Rem. Sens. Earth from Space*. 2014. V. 11. №. 1. P. 45–53 (in Russian).

К возможности спутникового дистанционного зондирования цветений кальцифицирующего фитопланктона и выявления влияющих факторов

Кондрик Д.В.[1,2] (dmitry.kondrik@niersc.spb.ru), Поздняков Д.В.[1,3], Петтерссон Л.[3]
[1]НФ “Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена”, *14*-я линия В.О. *7, 199034* Санкт-Петербург, Россия
[2]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга *38, 199397* Санкт-Петербург, Россия
[3]Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия

Объектом исследования в настоящей работе является наиболее распространенный в Мировом океане вид кокколитофорид – Emiliania huxleyi – микроводоросль, генерирующая в процессе своего жизненного цикла углерод, влияющий на химизм водной среды и динамику углеродного цикла в системе океан-атмосфера, а также диметил сульфид, усиливающий образование облачности. Обширные области цветения E. huxleyi ухудшают световой климат в нижележащем водном столбе и изменяют его стратификацию. Таким образом, исследование пространственно-временной динамики цветений E. huxleyi является весьма актуальной задачей.

Эту задачу можно осуществить с помощью методов дистанционного зондирования с применением разработанного в Нансен-Центре био-оптического алгоритма BOREALI и гидрооптической модели вод в области цветения E. huxleyi. Результаты, получаемые с помощью этого алгоритма, имеют то же пространственное и временное разрешение, что и исходные спутниковые снимки, что позволяет производить анализ полученных результатов для любой акватории, свободной от облачности. Важно заметить, что процесс формирования цветений очень сложен и зависит от многих параметров. Именно поэтому изучению степени влияния каждого из этих параметров была посвящена значительная часть данной работы, что в дальнейшем позволит правильно интерпретировать причинно-следственные связи между изменениями параметров окружающей среды и динамикой цветений кокколитофорид, а также с большой степенью вероятности строить прогнозы на будущее.

On the possibility of satellite remote sensing of calcifying phytoplankton blooms and the establishment of controlling factors

Dmitry Kondrik[1,2] (dmitry.kondrik@niersc.spb.ru), Dmitry Pozdnyakov[1,3], Lasse Pettersson[3]
[1]*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line Vasilievsky Island, 199034 St. Petersburg, Russia*
[2]*Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 St.Petersburg, Russia*
[3]*Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Thormohlensgate 47, 5009 Bergen, Norway*

The study addresses Emiliania huxleyi algae – the most common species among the world ocean's coccolithophorids. E. huxley is a micro algae that generates carbon during its lifetime. The latter affects the chemistry of the aquatic environment as well as the dynamics of the carbon cycle in the ocean-atmosphere system. E. huxley also emit dimethylsulphide that is reportedly capable of enhancing the cloudiness formation. Vast E. huxleyi bloom areas deteriorate light climate of underlying water column, thus affecting both the biota growth conditions and the stratification of the water column in the bloom area. Thus, investigation of spatio-temporal bloom dynamics of E. huxleyi appears to be a hot problem. To tackle this problem, remote sensing techniques are most appropriate.

We employed both the bio-optical algorithm BOREALI developed at the Nansen Centre and the hydrooptical model of the aquatic medium within E. huxleyi bloom area. The results obtained with this algorithm have the same spatial and temporal resolution as the original satellite images. This allows performing the operational analysis of E. huxleyi bloom related alterations for any marine area free of cloudiness. Importantly, the blooms formation process is very complex and depends on many parameters. That is why the study of the influence of each of these parameters constituted a significant part of this study. The establishment of the E. huxley bloom formation controlling factors/mechanisms will allow in the future an adequate interpretation of major causal relationships between changes in environmental parameters and dynamics of coccolithophorid blooms, as well as to make reliable forecasts of occurrence and extent of this phenomenon in the future.

Saharan dust as a causal factor of hemispheric asymmetry in aerosols and cloud cover over the tropical Atlantic ocean

Pavel Kishcha[1] (pavelk@post.tau.ac.il), Arlindo da Silva[2], Boris Starobinets[1], Charles Long[3], Olga Kalashnikova[4], and Pinhas Alpert[1]
[1]*Department of Geosciences, Tel-Aviv University, Israel*
[2]*Global Modeling and Assimilation Office, NASA/GSFC, USA*
[3]*Pacific Northwest National Laboratory, USA*
[4]*Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, USA*

Previous studies have showed that, over the global ocean, there is no noticeable hemispheric asymmetry in cloud fraction (CF). This contributes to the balance in solar radiation reaching the sea surface in the Northern and Southern hemispheres. In the current study, we focus on the tropical Atlantic (30 N–30 S) which is characterized by significant amounts of Saharan dust dominating other aerosol species over the North Atlantic.

Our main point is that, over the tropical Atlantic, not only is Saharan dust responsible for the pronounced hemispheric aerosol asymmetry, but it also contributes to significant cloud cover along the Saharan Air Layer. Over the tropical Atlantic in July, along the Saharan Air Layer (SAL), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) CF data showed significant cloud cover (up to 0.8–0.9). This significant cloud fraction along SAL together with clouds over the Atlantic Inter-tropical Convergence Zone contributes to the 20% hemispheric CF asymmetry. This leads to the imbalance in strong solar radiation, which reaches the sea surface between the tropical North and South Atlantic, and, consequently, affects climate formation in the tropical Atlantic.

During the 10-year study period (July 2002–June 2012), NASA Aerosol Reanalysis (akaMERRAero) showed that, when the hemispheric asymmetry in dust aerosol optical thickness (AOT) was the most pronounced (particularly in July), dust AOT averaged separately over the tropical North Atlantic was one order of magnitude higher than that averaged over the tropical South Atlantic. In the presence of such strong hemispheric asymmetry in dust AOT in July, CF averaged separately over the tropical North Atlantic exceeded that over the tropical South Atlantic by 20%. Both Multi-Angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) measurements and MERRAero data were in agreement on seasonal variations in hemispheric aerosol asymmetry. Hemispheric asymmetry in total AOT over the Atlantic was the most pronounced between March and July, when dust presence over the North Atlantic was maximal. In September and October, there was no noticeable hemispheric aerosol asymmetry between the tropical North and South Atlantic. During the season with no noticeable hemispheric aerosol asymmetry, we found no noticeable asymmetry in cloud cover.

Атмосферная коррекция спутниковых изображений в задаче восстановления коэффициентов отражения земной поверхности

Тарасенков М.В. (TMV@iao.ru), Белов В.В. (Belov@iao.ru), Кирнос И.В.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева *1, 634055* Томск, Россия

Информация о земной поверхности имеет широкий круг применений – таких как задачи климата, экологии, природопользования, картирования и др. География потребностей в этих данных простирается на всю территорию Земли. Пассивные спутниковые системы дистанционного зондирования земной поверхности в силу своей всеохватности являются незаменимым инструментом при решении этих задач. Однако в силу того, что земная атмосфера является аэрозольно-газовой средой, принимаемый спутниковой системой сигнал претерпевает искажения, учет которых необходим во многих случаях для адекватной интерпретации спутниковых изображений.

В рамках выполняемых нами исследований рассматривается атмосферная коррекция спутниковых данных применительно к задаче восстановления спектральных коэффициентов отражения земной поверхности. В общем случае наблюдаемые участки земной поверхности можно разделить на: 1) участки под сплошной облачностью с высокой оптической плотностью; 2) участки, расположенные вблизи или в разрывах облачных полей, где необходим учет влияния облачного поля; 3) участки под полупрозрачной облачностью и 4) безоблачные участки на значительном удалении от облачных полей.

Для безоблачных участков и участков со сплошной полупрозрачной облачностью был разработан алгоритм восстановления коэффициентов отражения земной поверхности. Алгоритм строится на основе уравнения переноса излучения и теории линейных систем. Принимаемый сигнал разбивается на компоненты, каждая из которых моделируется с помощью метода Монте-Карло. Вводится ряд приемов, позволяющих ускорить получение результата. Распределение коэффициента отражения по земной поверхности получается путем решения линейной, а затем нелинейной системы уравнений. Выполнялось сравнение результатов работы предлагаемого алгоритма с результатами алгоритма MOD09 NASA для участков с низкой мутностью среды. Сравнение показывает высокую корреляцию результатов.

Параллельно с этим ведутся исследования по оценке области влияния облачного поля на результаты атмосферной коррекции безоблачных участков в зависимости от оптико-геометрических условий. Конечной целью исследований является создание алгоритма атмосферной коррекции, который удаляет из рассмотрения участки со сплошной оптически плотной облачностью, оценивает и устраняет влияние облачности на безоблачные участки.

Исследование поддерживается грантом Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 15-01-00783 и 15-07-06811).

Atmospheric correction of satellite images in problem of reconstructing the Earth surface reflection coefficients

M.V. Tarasenkov (TMV@iao.ru), V.V. Belov (Belov@iao.ru), I.V. Kirnos
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia

Information on the Earth surface has a wide field of applications, including climate, ecology, environmental management, mapping, and so on. These data are required for the entire Earth surface. Passive satellite systems of remote sensing of the Earth surface, due to their omnitude, are irreplaceable tools for solving these problems. However, because the Earth atmosphere is an aerosol-gas medium, the signal received by a satellite system is distorted. In many cases, these distortions must be taken into account for the adequate interpretation of satellite images.

Within the limits of our investigations, the problem of atmospheric correction of satellite data is considered with application to the reconstruction of the spectral reflection coefficients of the Earth surface. Generally, the observed regions of the Earth surface can be subdivided into 1) regions covered by continuous cloudiness with high optical density; 2) regions located in the vicinity of or in gaps of cloud fields for which the influence of the cloud field must be taken into account; 3) regions covered by translucent cloudiness; and 4) cloudless regions far from cloud fields.

An algorithm for reconstructing the Earth surface reflection coefficients has been developed for cloudless regions and regions covered with continuous translucent cloudiness. The algorithm is based on the equation of radiation transfer and linear systems theory. The received signal is subdivided into components each of which is simulated by the Monte Carlo method. A number of procedures have been developed that allow one to get faster results. The distribution of the reflection coefficient over the Earth surface is obtained by solving the linear and then nonlinear systems of equations. The results obtained using the suggested algorithm have been compared with the results obtained using the MOD09 NASA algorithm for regions with low turbidity of the medium. The comparison demonstrates high degree of correlation of the results.

Simultaneously, investigations aimed at the estimation of influencing the cloudy field on the results of the correction for cloudless regions depending on the optical-geometrical conditions of observations have been performed. The final goal of our investigations is the creation of the algorithm of atmospheric correction eliminating from consideration regions with continuous optically dense cloudiness and estimates and eliminates the influence of cloudiness on cloudless regions.

This work is supported by grants from the Russian Foundation for Basic Research (project 15-01-00783 and 15-07-06811).

Диагностика концентрации водяного пара по данным спутниковых навигационных систем

Терешин Н.А. (nikita.tereshin@gmail.com), Куницын В.Е., Нестеров И.А.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия

Актуальной темой исследований в области дистанционного зондирования атмосферы является определение атмосферного влагосодержания. Она является важной характеристикой, оказывающей влияние на динамику и термодинамику атмосферы. Однако ее измерение сопряжено с некоторыми трудностями: в частности, многие спутниковые методы измерения влажности позволяют проводить измерения лишь над поверхностью океана. Навигационные спутниковые системы (такие как GPS, ГЛОНАСС и др.) обладают двумя существенными преимуществами, которые позволяют использовать их для атмосферных измерений. Во-первых, имеется возможность достаточно точно измерять временную задержку спутникового сигнала, что позволяет непосредственно оценивать

влияние атмосферной рефракции на распространение волн в виде временной задержки сигнала. Во-вторых, многочисленность этих спутников, а также большое количество станций-приемников дают в ряде регионов хорошее покрытие поверхности суши. Сети наземных приемников постоянно производят запись измерений задержки сигнала для всех видимых спутников.

Для определения атмосферного влагосодержания необходим анализ тропосферной задержки сигнала – задержки, вызванной нейтральной атмосферой. Задача осложняется тем фактом, что величина тропосферной задержки весьма мала по сравнению с общей величиной задержки сигнала (различие на 7 порядков). Извлечение тропосферной задержки требует учета геометрии системы спутников, а также оценки различных приборных и физических факторов, влияющих на распространение сигнала. Использование двухчастотных приемников сигнала позволяет значительно исключить влияние ионосферы. Тропосферная задержка содержит в себе информацию как о сухой атмосфере, так и о влиянии водяного пара. Так как оба фактора практически невозможно различить между собой, влияние сухой атмосферы приближенно оценивается согласно тропосферной модели Саастамойнена, которая использует для этого значения наземных метеорологических параметров – давления и температуры. Это позволяет оценить значение влажной тропосферной задержки, создаваемой водяным паром. Чтобы исключить положения спутников, используется картирующая функция Нила, которая позволяет перейти к величине вертикальной (зенитной) задержки. Вертикальная влажная задержка является прямой характеристикой интегрального атмосферного влагосодержания.

Для того чтобы в дальнейшем естественным образом расширить разрабатываемый метод в область исследования вертикального распределения влажности, в качестве основы для метода использовалось сплайновое представление функций с тихоновской регуляризацией, в отличие от часто используемой статистической фильтрации Калмана. Для верификации работы метода были использованы данные из глобального реанализа NCEP/NCAR и регионального североамериканского реанализа NARR, а также результаты работы похожего метода, используемого консорциумом UNAVCO. В результате обработки данных из архива IGS (International Geodetic Service) этим методом было выяснено, что среднее по времени отклонение получаемой величины интегрального влагосодержания от данных реанализа составляет около 35–40%, при ее значениях от 10 до 40 килограмм воды на квадратный метр. Характерные особенности распределения влаги в исследуемом регионе также корректно отражаются на рассчитанных пространственных полях интегрального влагосодержания.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 14-05-00815).

On determining the concentration of water vapour using data from global navigation systems

N.A. Tereshin (nikita.tereshin@gmail.com), V.E. Kunitsyn, I.A. Nesterov
M.V. Lomonosov Moscow State University, Physics Faculty, Vorobyevi Gory, 119992 Moscow, Russia

The problem of determining the total amount of precipitable water vapour in an atmospheric column is of particular interest to remote sensing of Earth. Integrated water vapour (IWV) is an important quantity that influences atmospheric dynamics and thermodynamics. Its measurement, however, is complicated by many factors: in particular, most satellite methods of measuring IWV are limited to water-covered areas of the Earth's surface. There are two significant advantages that allow to use satellite positioning systems (such as GPS, GLONASS, etc.) for atmospheric measurements. First, they allow to precisely measure the delay of satellite signal; this allows one to estimate the influence of atmospheric refraction on the propagation of waves. Second, the having of numerous satellites in orbit and vast networks of ground receiver stations provides an increasing coverage of a significant portion of landmass. Receiver networks continuously measure the signal delay for all available satellites.

To determine the total precipitable water vapour one has to extract the tropospheric delay that is caused by neutral atmosphere. Due to its insignificance when compared to the total value of the delay (it is smaller by 7 orders of magnitude), some problems arise. Calculating tropospheric delay involves precise geometric calculations of distances between satellites and receivers, and estimates of multiple instrumental and physical factors that affect the signal delay. The using of dual-frequency receivers allows excluding, for the most part, the influence of ionosphere. Tropospheric delay includes both the wet delay (caused by water vapour) and dry delay (caused by the rest of the atmosphere). Those two are practically indistinguishable from each other; hence, to calculate the former, one needs to estimate the latter. Here it is done using the Saastamoinen tropospheric model, which uses the surface-measured pressure and temperature to estimate the dry delay. To exclude the dependence of signal delay on satellite and receiver positions, Niell mapping function is used, yielding zenith wet delay, which unambigiously describes the IWV. To simplify the future task of evaluating the vertical distribution of humidity, the described method is based on smoothing splines — contrary to widely-adopted Kalman filtering.

To verify the results, NCEP/NCAR global reanalysis and NARR regional reanalysis data was used. Additionally, the results were compared to output of a similar method developed by UNAVCO consortium. Processing a set of data from IGS archive (International Geodetic Service) showed that time-averaged deviation of calculated IWV values from reanalysis data is around 40% – with values of 10 to 40 kilograms per square meter. Medium-scale spatial features of humidity distribution are also well-described by calculated values of IWV.

This work is supported by RFBR (#14-05-00855).

Модернизация спутникового радиозатменного зондирования атмосфер и ионосфер Земли и планет

Павельев А.А. (alxndr38@mail.ru), Матюгов С.С., Павельев А.Г.
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. акад. Б.А. Введенского *1*, *141190* Фрязино, Моск. обл., Россия

Радиозатменное дистанционное зондирование на трассах космический аппарат-Земля в течение последних 50 лет применялось в качестве мощного инструмента для исследования трехмерной структуры атмосфер, ионосфер и поверхностей планет. С 1995 года были начаты эксперименты радиозатменного зондирования атмосферы и ионосферы Земли с помощью стабильных, синхронизированных атомными часами, сигналов навигационной системы GPS на трассах навигационный спутник – низкоорбитальные спутники.

Результаты экспериментов доказали перспективность и конкурентоспособность радиозатменного метода по сравнению с существующими средствами дистанционного зондирования для изучения вертикальной структуры атмосферы и ионосферы Земли в глобальном масштабе с разрешением по высоте в интервале от 0.1 до 1.0 км. Высокое качество сигналов навигационных систем GPS, ГЛОНАСС и др. требует модернизации радиозатменной технологии, которая может быть применена для зондирования атмосфер и ионосфер Земли и планет. Обнаружение связи между вариациями производных по времени от фазы и доплеровской частоты и интенсивности зондирующих радиоволн позволило сформулировать принцип локальности радиозатменного зондирования [1–3], расширяющего область применения радиозатменного метода.

1. Если положение центра симметрии известно, то полное поглощение на трассе распространения радиоволн определяется на одной частоте с точностью до 0.1 дБ путем исключения из интенсивности зондирующих радиоволн рефракционного ослабления амплитуды, определяемого по измерениям вариаций фазы.

2. Вклады слоистых и нерегулярных структур в радиозатменный сигнал могут быть разделены и параметры слоев и турбулентности могут быть измерены с использованием совместного анализа вариаций амплитуды и фазы на одной частоте.

3. При отклонении центра сферической симметрии от центра Земли (планеты) и отсутствии поглощения могут быть измерены высота, наклон слоев к горизонту, а также горизонтальное смещение ионосферных (атмосферных) слоев от перигея лучевой траектории радиоволн.

4. Введен, в дополнение к индексу сцинтилляций S4, индекс вариаций рефракционного ослабления X4, определяемый по флуктуациям фазы зондирующих радиоволн. Высокая корреляция индекса X4 с индексом S4 установлена в дециметровом диапазоне радиоволн на трассах навигационные спутники-низкоорбитальные спутники.

Указанные выводы подтверждены результатами анализа экспериментальных данных радиозатменного зондирования с помощью спутников FORMOSAT-3 и CHAMP.

Работа поддержана грантом РФФИ № 13-02-00526-а.

1. Liou Y.A. and A.G. Pavelyev. Simultaneous observations of radio wave phase and intensity variations for locating the plasma layers in the ionosphere // *Geophys. Res. Let.* 2006. V. 33. № 23. L231021-5.
2. Pavelyev A.G., Yuei-An Liou, S.S. Matyugov et al. Application of locality principle to radio occultation studies of the Earth's atmosphere and ionosphere // *Atm. Meas. Techn.* 2015. P. 721–730. DOI: 10.5194/amtd-8-721-2015.
3. Павельев А.Г. Принцип локальности и радиозатменное зондирование слоев в атмосферах и ионосферах Земли и планет // Доклады АН. 2013. Т. 452. № 3. С. 271–274.

Modernization of satellite radio occultation remote sensing of the atmosphere and ionosphere of the Earth and the planets

A.A. Pavelyev (alxndr38@mail.ru), S.S. Matyugov, A.G. Pavelyev
V.A. Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, 1 Vvedenskogo sq., 141190 Fryazino, Moscow region, Russia

Radio occultation (RO) remote sensing during the past 50 years has been applied as a powerful tool to the study of three-dimensional structure of the atmosphere, ionosphere and surface of the planets. Since 1995, the radio occultation experiments were started with aim to investigate the atmosphere and ionosphere of the Earth using the stable, synchronized by atomic clocks, signals of GPS navigation system received on low Earth-orbit (LEO) satellites.

Experimental results have proved that the RO method is promising and competitive as compared with existing remote sensing tools and can be successfully applied to systematic study of the vertical structure of the atmosphere and ionosphere of the Earth with a global coverage and good vertical resolution in the range from 0.1 up to 1.0 km. However, high-stable signals of the GPS and GLONASS navigational systems require modernization of the RO technology. Detected relationship between variations of intensity and derivatives of the phase and Doppler frequency on time of the radio wave passed through the atmosphere makes it possible to formulate the principle of locality, expanding the aplicable domain of the RO method [1–3].

1. If location of the center of symmetry of the atmosphere is known, the total absorption of radio waves at a single frequency can be determined with an accuracy of 0.1 dB by excluding from the RO signal intensity the refractive attenuation found from phase variations.

2. Contribution of layered and irregular atmospheric structures can be separated; turbulence and layers parameters can be measured using a joint analysis of variations in the RO amplitude and phase at a single frequency.

3. If the center of spherical symmetry is displaced from center of the Earth (planet) the height and inclination of layers, as well as their displacement from the perigee of ray path of radio waves can be measured.

4. The index X4 determined from phase fluctuations of the RO signal is introduced, in addition to the scintillation index of intensity S4. High correlation of indices X4 and S4 is established in the decimeter range of radio waves.

These conclusions are confirmed by results of analysis of the experimental RO FORMOSAT-3 and CHAMP data

This work has been supported by RFBR grant № 13-02-00526-a and Program 9 of Russian Academy of Sciences.

1. Liou Y.A. and A.G. Pavelyev. Simultaneous observations of radio wave phase and intensity variations for locating the plasma layers in the ionosphere // *Geophys. Res. Let.* 2006. V. 33. № 23. L231021-5.
2. Pavelyev A.G., Yuei-An Liou, S.S. Matyugov et al. Application of locality principle to radio occultation studies of the Earth's atmosphere and ionosphere // *Atm. Meas. Techn.* 2015. P. 721–730. DOI: 10.5194/amtd-8-721-2015.
3. Pavelyev A. G. Principle of Locality and Radio Occultation Method for Remote Sensing of Layers in the Atmosphere and Ionosphere of Earth and Other Planets. *Doklady Physics*. 2013. V. 58. № 9. P. 375–378.

Использование спутниковых данных о метеорологических характеристиках и характеристиках растительности в модели вертикального влаго- и теплообмена подстилающей поверхности с атмосферой

Старцева З.П.[1] (zoya@aqua.laser.ru), Музылев Е.Л.[1], Волкова Е.В.[2]
[1]Институт водных проблем РАН, ул. Губкина *3, 119993* Москва, Россия
[2]НИЦ "Планета"; Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия

Существующие физико-математические модели влаго- и теплообмена подстилающей поверхности (ПП) с атмосферой (LSM, Land Surface Model) являются в настоящее время одним из наиболее эффективных инструментов для оценки характеристик водного и теплового режимов обширных покрытых растительностью территорий. К основным из этих величин относятся влагосодержание почвы и суммарное испарение, разработке методов расчета которых с помощью LSM, пригодной для использования спутниковой информации о характеристиках ПП и метеорологических характеристиках, посвящена настоящая работа.

Разработанная модель предназначена для расчета влагосодержания почвы, испарения, транспирации растительности, вертикальных тепловых потоков и других характеристик водного и теплового режимов, а также температуры подстилающей поверхности (ТПП) и распределений температуры и влажности почвы по глубине. Характеристики почв и растительности используются в модели в качестве параметров, а метеорологические характеристики – в качестве входных переменных. Значения этих величин определялись по данным наземных наблюдений и по спутниковым данным. В качестве последних использовались данные измерений радиометров AVHRR/NOAA, MODIS/EOS Terra и Aqua, SEVIRI/Meteosat-9, -10. По данным AVHRR строились оценки температуры поверхности почвы T_{sg} и воздуха на границе растительного покрова T_a, эффективной ТПП $T_{s.eff}$, излучательной способности E, нормализованного индекса вегетации NDVI, проективного покрытия растительностью *B*, листового индекса LAI и осадков; по данным MODIS – оценки ТПП T_{ls}, *E*, NDVI и LAI; по данным SEVIRI – оценки T_{ls}, T_a, E, LAI и осадков. Расчеты проводились для сезонов вегетации 2009–2014 гг. В качестве исследуемой была выбрана находящаяся в лесостепной зоне России территория части сельскохозяйственного Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) площадью 227300 км^2 с координатами 49 30'– 54 с.ш. и 31 –43 в.д., включающая Курскую, Белгородскую, Орловскую, Воронежскую, Липецкую, Тамбовскую и Брянскую области.

Оценки названных метеорологических характеристик и характеристик растительности были получены с помощью новых или разработанных ранее и усовершенствованных методов и технологий тематической обработки данных AVHRR, MODIS и SEVIRI. Все технологии были адаптированы к исследуемой территории. Достоверность оценок ТПП по данным AVHRR и MODIS проверялась при сравнении с результатами наземных измерений и аналогичными оценками по данным всех рассматривавшихся сенсоров. Проверка корректности оценок ТПП по данным SEVIRI производилась путем сравнения с ее синхронными оценками по данным этого же радиометра, полученными в LSA SAF (Прикладном спутниковом центре анализа данных о земной поверхности – Лиссабон, Португалия), а также с оценками ТПП по данным AVHRR и MODIS и данными наземных

наблюдений. Адекватность оценок LAI была подтверждена при сопоставлении его временных ходов за вегетационный период, построенных по спутниковым и наземным данным.

Большая часть настоящей работы – разработка процедур использования в модели оценок осадков, полученных с помощью с помощью комплексной пороговой методики (КПМ) детектирования облачности и идентификации ее типов в круглосуточном режиме в течение всего года, а также выделения зон осадков и определения их мгновенной максимальной в границах пиксела интенсивности. В качестве предикторов в КПМ используются измерения в 5-ти каналах AVHRR или в 11-ти каналах SEVIRI, а также их разности. Калибровка и проверка методики производились по данным наблюдений за количеством осадков, выпавших в течение суток, на агрометеорологических станциях региона. Вероятность определения по спутниковым данным зон осадков, совпадающих с фактическими, при сопоставлении с данными наземных наблюдений составила 70–80%. В рамках методики осуществлен переход от оценки интенсивности осадков к вычислению их суточных сумм, причем были реализованы два варианта такого расчета – нацеленные на проведение климатических исследований и оперативного мониторинга. Для каждого из вариантов произведены оценки точности вычисления суточного количества осадков, выявлены их преимущества и недостатки. При расчетах по обоим вариантам для рассматриваемого региона были построены поля суточных, месячных и годовых сумм осадков. Все эти суммы согласуются друг с другом и с данными наземных наблюдений, хотя и являются более “гладкими” по сравнению с наземными оценками. Их расхождения заключены в пределах ошибки оценки осадков с помощью КПМ, причем эти расхождения характерны для локальных максимумов, спутниковые оценки осадков для которых меньше наземных, что может быть обусловлено разными масштабами пространственно-осредненных спутниковых и точечных наземных оценок.

Для использования в модели спутниковых оценок метеорологических характеристик и характеристик растительности были разработаны процедуры замены значений осадков, ТПП, LAI и B, определенных по данным наземных наблюдений, на оценки всех этих величин по спутниковой информации с учетом пространственной неоднородности их полей. Корректность таких замен подтверждена результатами сравнения полученных при моделировании и измеренных на агрометеостанциях величин влагосодержания почвы W и суммарного испарения E_v. Анализ результатов расчётов по модели с использованием фактических значений осадков и их оценок, построенных с помощью “оперативного” и “климатического” вариантов КПМ, показал, что при полученной при расчетах по этим вариантам разнице сумм осадков за сезон вегетации в 20% расхождения между рассчитанными по модели соответствующими значениями влагозапасов за тот же период не превышали 8%, а различия значений суммарного испарения находились в пределах 15%. Проведенное сравнение результатов расчёта сезонного хода влагосодержания почвы при использовании оценок осадков по данным отдельно SEVIRI, AVHRR, AVHRR&SEVIRI (комбинации данных двух радиометров) с результатами аналогичного расчёта по данным наземных измерений осадков показало практическое совпадение всех кривых для W в начале теплого периода года и их расхождение к концу сезона вегетации, особенно значимое для кривой хода влагозапасов, рассчитанных при оценке осадков по данным AVHRR. Причиной различий может, например, являться неравномерность приёма данных NOAA в течение суток.

Конечным результатом работы являются построенные с помощью адаптированной к спутниковым данным модели распределения по площади исследуемого региона значений влаго- и теплосодержания почвы, суммарного испарения, вертикальных потоков влаги и тепла и других характеристик водного и теплового режимов региона в их динамике за сезоноы вегетации 2009–2014 гг. Расхождения рассчитанных по модели и измеренных на агрометеостанциях значений W и E_v не превышали 15 и 25%, что является приемлемым результатом.

Utilization of satellite data on meteorological and vegetation characteristics in the model of vertical water and heat exchange between land surface and atmosphere

Z.P. Startseva[1] (zoya@aqua.laser.ru), E.L. Muzylev[1], E.V. Volkova[2]
[1]*Water Problem Institute RAS, 3 Gubkina str., 119991 Moscow, Russia*
[2]*State Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B.Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

Existing physical-mathematical models of water and heat exchange between land surface and atmosphere (LSM, Land Surface Models) are currently one of the most effective tools to assess the characteristics of the water and heat regimes of vast vegetation covered areas. Soil water content and evapotranspiration are the principal of these quantities and the present study is devoted to the development of methods for their calculation using the LSM applicable to utilize satellite data on the meteorological and land surface characteristics.

The developed model is destined for simulating the soil water content, evaporation, transpiration by plants, vertical latent and heat fluxes from land surface and other water and heat regime characteristics as well as land surface temperatures (LST) and vertically distributed soil temperature and moisture. Soil and vegetation characteristics are considered to be the model parameters and meteorological characteristics are the input variables. Their values have been derived from data of ground observations or satellite measurements by scanning radiometers AVHRR/NOAA, MODIS/EOS Terra and Aqua, SEVIRI/Meteosat-9, -10. The AVHRR data have been used to build the estimates of three types of LST: land skin temperature T_{sg}, air temperature at a level of vegetation cover T_a and efficient radiation temperature $T_{s.eff}$, emissivity E, normalized difference vegetation index NDVI, vegetation cover fraction B, leaf area index LAI, and precipitation. The set of estimates derived from MODIS data has comprised values of LST T_{ls}, E, NDVI and LAI. The SEVIRI-based retrievals have included T_{ls}, T_a, E at daylight and nighttime, LAI (daily), B and precipitation. The case study has been carried out for forest-steppe territory with coordinates 49 30'–54 N, 31 –43 E and square equal to 227300 km^2 located in the Black Earth zone of the Central Russia and included Kursk, Belgorod, Orel, Voronezh, Lipetsk, Tambov and Bryansk regions for years 2009– 2014 vegetation seasons.

Estimates of above meteorological and vegetation characteristics have been built utilizing the developed original and improved pre-existing methods and technologies of thematic processing data from AVHRR/NOAA, MODIS/Terra & Aqua, and SEVIRI/Meteosat. All technologies have been adapted to the study area. Verification of the AVHRR- and MODIS-derived LST estimates has been performed through comparison with ground-measured temperatures and analogous estimates obtained from all considered sensors. The reliability of SEVIRI-derived LST estimates has been verified by comparison with similar synchronous SEVIRI-derived estimates produced in LSA SAF (Land Surface Analysis Satellite Applications Facility, Lisbon, Portugal) as well as with AVHRR- and MODIS-derived products and ground observation data. Correctness of LAI estimates has been confirmed by comparing the time behavior of satellite- and ground-based LAI during vegetation season.

The important part of the study is to develop procedures of utilizing satellite-derived estimates of precipitation in the model. These estimates have been built using the developed Multi Threshold Method (MTM) designed for assessing daily and monthly rainfall. The MTM allows automatic pixel-by-pixel classifying AVHRR and SEVIRI data for the cloud detection and identification of its types around the clock throughout the year as well as the allocation of precipitation zones and determination of instantaneous maximum intensities of precipitation in the pixel range. Measurement data from 5 AVHRR channels or from 11 SEVIRI channels as well as their differences have been used in the MTM as predictors. To validate the methodology, ground-based observation data on daily rainfall at agricultural meteorological stations of the study region have been used. The probability of the correct precipitation zone detection from satellite data when comparing with ground-based observations has amounted 70–80%. In the frame of this approach the transition from the rainfall intensity estimation to the calculation of their daily sums has been

accomplished at that two versions of this calculation have been realized which focusing on climate researches and operational monitoring. For each version estimates of the daily rainfall calculation accuracy have been made, their advantages and disadvantages have been discovered. In the both calculation versions fields of daily, monthly and annual precipitation for the region of interest have been built. All these sums have been found to be in agreement with each other and with ground-measured values although they have been more level than the ground-based estimates. Their discrepancies lie in the range of the MTM rainfall estimation error. The discrepancies have been recognized for local maxima for which satellite-derived rainfall have been less than for the ground-based ones. This may be due to different scales of pixel-averaged satellite-derived and point-wise ground-based estimates.

To utilize satellite-derived estimates of meteorological and vegetation characteristics in the model there have been developed procedures of replacing the values of precipitation, LST, LAI and *B* determined from observations at agricultural meteorological stations by their satellite-derived values taking into account spatial heterogeneity of their fields. Correctness of such replacement has been confirmed by the results of comparing ground-measured and modeled values of soil moisture content *W* and evapotranspiration E_v. Analysis of the results of model calculations using the actual values of precipitation and their estimates built by "operational" and "climate" MTM versions has shown that when the difference between precipitation during the vegetation season obtained in the both calculation versions being 20%, the discrepancy between corresponding modeled values of soil water content during the same period has not exceeded 8%, and the difference between the values of evapotranspiration has been within 15%. A comparison of the seasonal variation of soil water content calculated using estimates of precipitation separately from SEVIRI, AVHRR, and AVHRR & SEVIRI (a combination of the two radiometers) data with similar variation calculated using the ground-measured precipitation has shown practical coincidence of all curves for *W* at the beginning of the warm period in spring and the divergence by the end of the vegetation season. This divergence is most significant for the curve of soil water content variation calculated using AVHRR-derived estimates of precipitation. The reason for the distinctions can be, for example, the uneven receiving NOAA data during the day.

Simulated by the adapted to satellite data LS-model spatial fields of soil water and heat content, evapotranspiration, vertical sensible and latent heat fluxes and other water and heat regime characteristics of the territory under consideration in their dynamics over the year 2009–2014 vegetation seasons are the final result of the study. Discrepancies between the modeled and ground-measured values of Ev and W does not exceeded 25 and 15% that is acceptable result.

Усвоение данных дистанционного зондирования уровня океана со спутников в модели динамики для Атлантики

Кулешов А.А.[1] (andrew_kuleshov@mail.ru), Беляев К.П.[2], Танажура К.А.С.[3]
[1]Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. *4, 125047* Москва, Россия
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский проспект *36, 117997* Москва, Россия
[3]Федеральный университет шата Байия, г. Сальадор, Бразилия

На основе данных наблюдений за уровнем океана со спутников строится и применяется метод коррекции модельных расчетов в Атлантике. Метод основан на принципе наименьшего действия и использует методы статистики и теории вероятностей [1, 2]. Метод применяется в численных экспериментах с динамической моделью циркуляции океана HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) [3] и данными наблюдений за уровнем океана архива AVISO (Archiving, Validating and Interpolating Satellite Ocean data, www.aviso.altimetry.fr) в Атлантическом океане со спутников Jason 1, Jason 2. По результатам расчетов проводится анализ качества применяемого метода. Результаты расчетов с коррекцией сравниваются с контрольным расчетом модели без коррекции, и делается вывод об адекватности и состоятельности предложенного метода.

Коррекция модельных расчетов производится по формуле $X_a = X_b + K(Y - HX_b)$, где X_a – поле после коррекции, X_b – исходное поле или поле до коррекции, Y – вектор наблюдений. Матрица K имеет специальное название – весовая матрица Калмана (Kalman gain). Матрица H представляет собой матрицу оператора проектирования, который проектирует пространство модели в пространство наблюдений. Фактически при этом обнуляются ненаблюдаемые компоненты вектора X и производится линейная интерполяции наблюдаемых компонент этого вектора в точки наблюдения. Изложенный выше метод усвоения был применен совместно с численной моделью циркуляции океана HYCOM. В качестве наблюдаемой информации использовались данные по аномалии уровня океана, взятые из архива AVISO. Архив располагает значениями наблюдений за уровнем вдоль треков.

В работе теоретически разработан и практически реализован новый метод усвоения данных, основанный на теории диффузионных случайных процессов. Метод достаточно прост в реализации и позволяет воспроизвести реальную структуру наблюдаемых полей на синоптическом и мезо- масштабах. Показано, что при усвоении данных альтиметрии ошибка моделирования уменьшается, а полученные поля оказываются ближе к наблюдаемым. Показано также, что теоретически и практически возможно построить доверительные границы для искомой ошибки моделирования. В работе анализируются и усваиваются только поля альтиметрии, а именно поля аномалии уровня поверхности океана (SSHA). Однако метод позволяет провести полный расчет всех модельных полей до и после усвоения, а также усваивать и другие наблюдаемые величины, в частности – температуру поверхности океана, данные с дрифтеров, другие данные.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 14-11-00434.

1. Беляев К.П., К.А.С. Танажура, Н.П. Тучкова. Сравнение методов усвоения данных буев "АРГО" в гидродинамической модели океана // Океанология. 2012. Т. 52. № 5. С. 643–653.
2. Tanajura C.A.S., K. Belyaev. A sequential data assimilation method based on the properties of diffusion-type process // *Appl. Math. Model.* 2009. V. 33. P. 2165–2174.
3. Xie J., J. Zhu. Ensemble optimal interpolation schemes for assimilating Argo profiles into a hybrid coordinate ocean model // *Ocean Modelling*. 2010. V. 33. P. 283–298.

Assimilation of remote measured sea level data from satellites into ocean dynamic model of Atlantic

A.A. Kuleshov[1] (andrew_kuleshov@mail.ru), K.P. Belyaev[2], C.A.S. Tanajura[3]
[1]*M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia*
[2]*P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovsky pr., 117997 Moscow, Russia*
[3]*Federal University of Bahia, Salvador, Brazil*

A new method of numerical model output correction in Atlantic is developed and applied using sea level remote measured data from Earth satellites. The method is based on the path of least resistance principle and exploited the math statistics and probability theory ideas [1, 2]. The method is applied in numerical experiments in conjunction with the ocean circulation model HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) [3] and with observational sea level data from archive AVISO (Archiving, Validating and Interpolating Satellite Ocean data, www.aviso.altimetry.fr) for Atlantic from satellites Jason 1 and Jason 2. The analysis of the method skill is assessed by the results of its applications. The model output with correction is compared with model output without correction, the so-called control twin experiment to come to conclusion about method ability and consistency.

The correction is performed by formula $X_a = X_b + K(Y - HX_b)$ where X_a is a field after correction, X_b is the original field (field before correction). The matrix K is called as the Kalman gain matrix. Matrix H represents the projection operator which projects the model phase-space onto the observational space. Actually, this projection eliminates the unobserved components of field X_b and linearly interpolates the observed components of X_b onto observational points. This method has been applied in conjunction with ocean numerical model HYCOM. The anomalies of sea level data

from archive AVISO have been used. This archive has sea level data along satellite tracks for Atlantic.

A new data assimilation technique has been theoretically developed and practically realized into this work. This method exploits the theory of diffusion stochastic process and that is based on the path-of-least-resistance principle. The method is quite simple in its practical realization and allows capturing the real structure of mesoscale processes. It is shown that the error between the model and observations decreases and the analyzed fields occur close to the observations after assimilation. It is shown also that it is possible to obtain the goodness-of-fit-tests for sought measurement errors. Only sea level anomaly fields are used into the current work. However, this method is able to realize the full calculations for all model characteristics and assimilate other observed data such as sea surface temperature, data from drifter ARGO and others.

This research is performed with the financial support of Russian Science Foundation, grant 14-11-00434.

Belyaev K.P., C.A.S. Tanajura, N.P. Tuchkova. The comparison of data assimilation methods for data from Argo drifters into hydrodynamic model // *Oceanology*. 2012. V. 52. № 5. C. 523–615.

2. Tanajura C.A.S., K. Belyaev. A sequential data assimilation method based on the properties of diffusion-type process // *Appl. Math. Model.* 2009. V. 33. P. 2165–2174.

3. Xie J., J. Zhu. Ensemble optimal interpolation schemes for assimilating Argo profiles into a hybrid coordinate ocean model // *Ocean Modelling*. 2010. V. 33. P. 283–298.

Развитие технологий автоматической классификации морского льда на основе спутниковых изображений

Захваткина Н.Ю.[1,2], Коросов А.А.[3], Весман А.В.[1,2],
Волков В.А.[1] (vladimir.volkov@niersc.spb.ru), Мушта А.В.[1]

[1]НФ “Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена”, *14*-я линия В.О. *7, 199034* Санкт-Петербург, Россия

[2]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга *38, 199397* Санкт-Петербург, Россия

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

Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена первоначально разработал систему автоматической классификации морского льда применительно к изображениям спутника ENVISAT на основе метода нейронных сетей. При появлении новых снимков, выполненных спутником RADARSAT2, выяснилось, что данный метод в этом случае не даёт стабильных удовлетворительных результатов. Для решения проблемы был протестирован и использован новый метод распознавания границы лёд-вода – метод опорных векторов. На основе его был подготовлен полностью автоматизированный алгоритм различения открытой воды и льда с использованием кросс-поляризованных спутниковых изображений RADARSAT2. Для того, чтобы классифицировать изображения РСА, где σ является функцией от угла падения, значения σ нормализуются по полосе прохождения с использованием опорного угла. Хотя значения РЛ-сигнала между разными типами льда немного выше в дальней области изображения, нормализация сигнала (обратного рассеяния) на предварительно заданный угол позволяет получить однородную контрастность изображения по всей полосе. Метод нормализации состоит из следующих стадий: а) расчет коэффициента обратного рассеивания с помощью яркости изображения в соответствии с формулой калибровки, разработанной ЕКА(ESA); б) пересчет сигнала обратного рассеяния на предварительно заданный угол с использованием заданных коэффициентов обратного рассеяния. Коэффициенты при этом были определены с помощью исследования зависимости (тренда) σ от угла падения (20–49) на НН-поляризации для нескольких изображений RS2 SCWA. В дальнейшем для более точной классификации метод был усовершенствован. В новом алгоритме текстурные характеристики спутниковых изображений используются как дополнительная информация к классификации на базе метода опорных векторов. Валидация тренированного алгоритма была сделана с помощью

ледовых карт Met.no и данных MODIS. Классифицированные изображения имеют разрешение 50 м при размере 500 км^2.

С 2014 года на орбиту вышел новый спутник SENTINEL1 с радиолокаторами с синтезированной апертурой, обеспечивающей получение изображений в любое время дня при любых погодных условиях. Для создания автоматизированной классификации на основе данных изображений, был разработан новый алгоритм (Anton Korosov ’High resolution automatic classification of Sentinel-1A SAR data’ Nansen Environmental and Remote Sensing Center), который объединяет метод опорных векторов и текстурные характеристики на основе матрицы GLCM. Для изображений HH необходима угловая коррекция, для HV – устранение термического шума. Текстурные характеристики вычисляются в окне 32x32 пикселя, в результате получается 26 групп (по 13 текстурных признаков для каждой поляризации). Некоторые характеристики хорошо коррелируют, что даёт основание для усечения количества используемых параметров. Следующим шагом является использование автоматической необученной классификации, в результате которой значения основных компонентов группируются в 10 классов с использованием кластерного анализа. Автоматически пиксели формируются на 15 классов.

Одним из важнейших этапов создания качественной автоматической классификации является обучение алгоритма. Для надежных результатов необходимо вручную обработать большое количество снимков. Было произведено тестовое обучение на основе снимков с различными видами подстилающей поверхности и шумов. В данный момент производится обучение алгоритма для получения наиболее качественной классификации “лёд-вода”. В дальнейшем планируется ввести более детальную классификацию.

Development of technologies for automatic classification of sea ice from satellite images

N.Y. Zakhvatkina[1,2], A.A. Korosov[3], A.V. Vesman[1,2],
V.A. Volkov[1] (vladimir.volkov@niersc.spb.ru), A.V. Mushta[1]
[1]*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line Vasilievsky Island, 199034 St. Petersburg, Russia*
[2]*Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 St.Petersburg, Russia*
[3]*Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Thormohlensgate 47, 5009 Bergen, Norway*

Previously algorithm of ice classification was based on Neural Network (NN) method, but the use of NN-approach for RADARSAT-2 data did not lead to satisfactory results. To solve this problem, another method – the support vector machine (SVM) method for recognizing the boundaries of ice/water – has been tested and used. Fully automated algorithm for decoding the open water (rough/calm surface) and ice using cross-polarized SAR images from RADARSAR-2 on the SVM basis was prepared. The algorithm is based on satellite SAR data mainly from RADARSAT-2, which has a dual-polarized mode in ScanSAR mode, i.e. HH (horizontally transmitted and horizontally received) and HV (horizontally transmitted, vertically received) channels are available for classification. This mode assembles wide SAR image from several narrower SAR beams, resulting to an image of 500x500 km with 50 m resolution. In order to classify SAR images where σ is a function of incidence angle, the σ values are normalized across the swath, using the reference angle. Although the difference in radar backscatter between different ice types is slightly higher at far range of SAR image, the backscatter normalization to pre-defined incidence angle allows obtaining the homogenous image contrast across the swath. For a more accurate classification the method has been improved. In the new algorithm the textural characteristics of satellite images are used as additional information to the classification SVM. Validation of the trained algorithm was made with the help of Met.no ice charts and MODIS datas.

In 2014 a new satellite SENTINEL1 with synthetic aperture radar appears, it delivers images at any time of the day in all weather conditions. For creation of the automatic classification based on these images, the new algorithm was developed (Anton Korosov ’High resolution automatic

classification of Sentinel-1A SAR data' Nansen Environmental and Remote Sensing Center). This algorith combines SVM and textural characteristics method. It is necessary for the HH- images to make an angular correction, for HV-images to make an elimination of thermal noise. We calculate the Haralick texture features in a 32x32 sliding window for the entire scene and instead of 2 bands (sigma0 in HH and HV) we obtain 26 bands (13 texture features for each polarization). Some texture features tend to correlate very much and we compress the information. Next step is to run automatic (unsupervised) classification. Values of principal components are grouped into 10 classes using k-means cluster analysis. The pixels which were automatically grouped by the k-means into 15 classes are regrouped manually into 2 classes only: ice and water by the expert.

One of the most important stages of creating high-quality automatic classification algorithm is the training of SVM. Results of statistical processing (PCA, K-means, etc.) depend on amount if data, quality of data, parameters of these algorithms (number of PCs, number of clusters, etc). For robust processing we need to process many scenes and analyse these data jointly. We made test training based on SAR images with different types of underlying surface and noise. Now we are training the algorithm to obtain the most qualitative classification of "ice-water". In the future we plan to introduce a more detailed classification.

Кросс-калибровка спутниковых съемочных систем

Силюк О.О. (volha.siliuk@gmail.com), Беляев Б.И., Катковский Л.В.
Научно-исследовательский институт им. А.Н. Севченко БГУ, ул. Курчатова, *220108* Минск, Беларусь

Данные дистанционного зондирования Земли используются сегодня во многих сферах жизнедеятельности человека. Выведенный на орбиту в 2012 году Белорусский космический аппарат (БКА) ведет регулярную съемку территорий Земли, материалы которой могут использоваться для решения народнохозяйственных задач. Для извлечения из спутниковых изображений достоверной информации о состоянии объектов земной поверхности необходимо проводить периодическую проверку стабильности характеристик съемочной аппаратуры. Одним из способов контроля качества материалов дистанционного зондирования может служить кросс-калибровка двух и более спутниковых систем. Кросс-калибровки различных систем регистрации изображений земной поверхности проводятся путем оценки количественного соответствия квазисинхронных данных, полученных рассматриваемыми устройствами по одним и тем же подстилающим поверхностям (районам съемки).

В настоящей работе приведены результаты расчетной кросс-калибровки изображений БКА и спутника Landsat8, и изображений БКА и авиационного гиперспектрометра AVIRIS. Данные Landsat и AVIRIS выбраны в качестве эталонных, поскольку данные этих аппаратов постоянно корректируются, в том числе по измерениям подспутниковых полигонов. Для проведения расчетов и анализа данных БКА и Landsat были использованы снимки Ливийской пустыни с координатами 28°51.2' N, 18°16.1' E, зарегистрированные названными аппаратами 12 сентября 2013 года; а для данных БКА и AVIRIS использован снимок штата Калифорния, США, координаты: 35°20' N, 119°7' E, съемка производилась 25 ноября 2013 года. Сопоставляемые снимки были получены в безоблачную погоду с небольшой разницей во времени. Исходные снимки, получаемые со спутников, содержат целочисленные цифровые значения (DN – digital numbers), принадлежащие определенному для каждого спутника динамическому диапазону и характеризующие излучение на верхней границе атмосферы в пределах пространственного элемента разрешения (пикселя). Для сопоставления данных различных систем такие «сырые» данные пересчитываются в эффективные значения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) с использованием, как правило, линейного уравнения, коэффициенты которого (калибровочные коэффициенты) определяются при проведении наземных предполетных спектрально-энергетических калибровок съемочных систем и периодически уточняются по

результатам повторных калибровок в процессе эксплуатации. Для каждого канала съемочной системы спутника, осуществляющего съемку, имеется своя пара калибровочных коэффициентов, с помощью которых значения каждого пикселя снимка переводятся в СПЭЯ.

Первый этап работы со снимками заключался в переводе по известным калибровочным коэффициентам цифровых значений пикселей в единицы СПЭЯ. На следующем этапе работы для повышения точности сопоставления данных двух аппаратов необходимо было учесть имеющиеся различия относительных спектральных чувствительностей, положений и ширин спектральных каналов сравниваемых съемочных систем. Для учета указанных различий был рассчитан отклик в каждом из сравниваемых каналов БКА и Landsat8 (БКА и AVIRIS) по измеряемой поверхности. Использованные в расчетах спектры отражения были зарегистрированы модулем спектрорадиометра Фотоспектральной системы (ФСС, разработка НИИПФП им. А.Н. Севченко) с борта Международной космической станции. Кроме того, для повышения точности результатов сравнения снимков были учтены различия условий освещения. Для сопоставления измерений и анализа были выбраны общие участки с однородной поверхностью в пределах перекрывающихся пространственных зон съемки обоими аппаратами.

Таким образом, в результате кросс-калибровки изображений Белорусского космического аппарата и спутника Landsat8 по описанной методике были получены сопоставимые значения спектральной яркости подстилающей поверхности, отличающиеся не более чем на 5%, что находится в пределах погрешностей абсолютных измерений СПЭЯ БКА и Landsat8. При кросс-калибровке изображений БКА и AVIRIS различие между СПЭЯ составило порядка 25%, что объясняется влиянием атмосферы. Для более корректного сопоставления этих данных необходимо провести атмосферную коррекцию, как спутниковых, так и авиационных изображений.

Cross-calibration of satellite imaging systems

O.O. Siliuk (volha.siliuk@gmail.com), B.I. Beliaev, L.V. Katkovsky
A.N. Sevchecnko Research Institute of Applied Physical Problems BSU, 7 Kurchatova str., 220108 Minsk, Belarus

The data of remote sensing of the Earth is used in many spheres of life. The Belarusian spacecraft (BS) launched in 2012 carries on the imaging of the Earth and these data can be used for solutions to different problems. From time to time it is necessary to control the stability of the imaging equipment. This control helps to extract actual information from the satellite images. One of the ways to control the quality of the remote sensing data is the cross-calibration of two and more satellite systems. Cross-calibrations of different earth and surface imaging systems are carried out estimating the quantitative correspondence of the quasi-synchronous data obtained over the same underlying surfaces.

The paper shows results of the calculated cross-calibration of the BS and Landsat8 images, as well as the BS and AVIRIS images. AVIRIS and Landsat8 data was chosen as an etalon, because these data is continually corrected including subsatellite polygon measurements. The images of Libyan desert with coordinates 28°51.2' N, 18°16.1' E made 12.09.2013 were used for analyzing the BS and Landsat8 data. The images of California, USA, with coordinates 35°20' N, 119°7' E made 25.11.2013 were used for analysis of the BS and AVIRIS data. The taken images were made in sunny weather with a little time difference. Initial images taken from satellites contain integral digital numbers. Digital numbers describe the radiation at the top of atmosphere within a pixel and correspond to the dynamic diapazon specific for each satellite. For comparing, the initial data are re-calculated into the effective value of spectral density of irradiance with the use of linear equation. Its coefficients (calibration coefficients) are detected in ground pre-flight spectral calibrations of imaging systems and periodically specified by the results of continual calibrations in operational process. There is a particular pair of calibration coefficients for each channel of satellite imaging system. These coefficients are used to convert value of each pixel into irradiance.

The first step of work with the images consisted in the translation of digital pixel values into irradiance with the use of given calibration coefficients. On the next step of work it was necessary to take into account the differences in relative spectral sensitivities, positions and widths of spectral channels of the compared imaging systems to improve the accuracy of compared data of the two systems. In order to take into account these differences, the response on the measured surface in each of the compared channels of the BS and Landsat8 (BS and AVIRIS) was calculated. Reflection spectra used in the work were made by the spectroradiometer module of the photospectral system (PSS was developed in A.N. Sevchecnko Research Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University) from board of the International Space Station. Besides, in order to improve the accuracy of the comparison between the images, different light conditions were taken into consideration. In order to compare measurements and analysis, common areas with similar surfaces within overlapping regions imaging by both apparatus were chosen.

Thereby; as the result of cross-calibration of the images from the BS and Landsat8 comparable values of irradiance were obtained. The difference is no more than 5% that lies within the errors of absolute irradiance measurements. The cross-calibration of the BS and AVIRIS images gave the difference of about 25% that was explained by the influence of atmosphere. For more accurate comparison of this data, it is necessary to conduct atmospheric correction of both satellite and aerial images.

Детектирование осадков и гроз по данным спутниковых измерений

Чечин Д.Е. (chechin@rpatyphoon.ru), Нерушев А.Ф.
НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Россия

Опасные гидрометеорологические явления, такие как ливни и грозы, могут приводить к значительным материальным потерям и причинять ущерб экономике различных стран. Важнейшей задачей современной метеорологии является заблаговременное прогнозирование и детектирование опасных природных явлений над обширной территорией с хорошим пространственным и временным разрешением. Существенный вклад в решение этой задачи вносят дистанционные спутниковые методы определения характеристик атмосферы и подстилающей поверхности.

В работе изложены методы детектирования атмосферных осадков и гроз на основе спутниковых измерений в оптическом диапазоне длин волн. Для определения характеристик осадков из фронтальных облачных систем используется минимальное количество параметров облачной системы, получаемых по данным оптического спутникового зондирования – оптическая толща облаков в видимом диапазоне длин волн, эффективный радиус облачных частиц, протяженность облачной системы и скорость ее перемещения. Для детектирования гроз в теплое время года над территорией суши используются данные об отражаемости перистых облаков. Сведения о значениях оптической толщи облаков, эффективном радиусе облачных частиц и отражаемости перистых облаков приводятся в программных продуктах спектрорадиометра MODIS. Информация о протяженности облачной системы и скорости ее перемещения получается на основе данных измерений радиометра SEVIRI.

На основе сравнения расчетов по данным измерений спектрорадиометра MODIS и радиометра SEVIRI с данными наблюдений на 73 метеостанциях сети ВМО для различных сезонов 2010–2014 годов показано, что средняя погрешность метода определения характеристик осадков не превышает 33% для твердых и 45% для жидких осадков. Предложены критерии априорного разделения фронтальных облачных систем на системы с осадками и без них по значениям оптической толщи облаков в видимом диапазоне длин волн и эффективного радиуса облачных частиц. Показано, что введенные критерии позволяют разделять облака с осадками и без них с вероятностью 84%.

Метод детектирования гроз проверен на более чем 40 облачных образованиях над территорией Европы в теплое время года. Расчеты проводились для начала, максимума и окончания сезона грозовой активности. В результате сравнения с более 500 случаями наблюдений на метеостанциях сети ВМО показано, что средняя погрешность детектирования гроз не превысила 15%.

Detection of precipitation and thunderstorms inferred from satellite measurements

D.E. Chechin (chechin@rpatyphoon.ru), A.F.Nerushev
Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia

Hazardous hydrometeorological phenomena – such as showers and thunderstorms – can lead to considerable material damages and cause economic losses in different countries. The major goal of modern meteorology is the long-period forecasting and detection of hazardous natural meteorological phenomena over vast territories with good spatial and temporal resolution. A considerable contribution in the solution of this problem is made by the remote satellite sensing methods aimed at the determination of characteristics of the atmosphere and underlying surface.

The paper presents the methods of detecting the atmospheric precipitation and thunderstorms based on the satellite measurements in the optical wavelength range. To determine the characteristics of precipitation from frontal cloud systems, minimal number of cloud system parameters inferred from the data of optical satellite soundings – cloud optical thickness in the visible wavelength range, cloud droplet effective radius, the length of cloud systems and the velocity of its motion – is used. To detect thunderstorms in warm season of the year the data of cirrus clouds reflectivity are used. The information on cirrus cloud optical depths, cloud droplet effective radii and reflectivity of cirrus clouds is given in the software products of the spectroradiometer MODIS. The information on the length of a cloud system and the velocity of its motion is retrieved from measurement data obtained by the radiometer SEVIRI.

Comparison of computation data with of the spectroradiometer MODIS and radiometer SEVERI measurement data with the observation results from 73 meteostations of the WMO network for different seasons of 2010–2014 has shown that an average error of the method used for determining precipitation characteristics does not exceed 33% for solid and 45% for liquid precipitation particles. Criteria are proposed for an a priori separation of frontal cloud systems into the systems with precipitation and without it using the cloud optical thicknesses in the visible wavelength range and the effective radii of cloud droplets. It is shown that the criteria introduced make it possible to separate the clouds with precipitation and without it with the probability of 84%.

The method of detecting thunderclouds was tested in more than 40 cloud formations over the territory of Europe in warm season. The computations were carried out for the beginning, maximum and the end of thunderstorm activity. As a result of comparison with more than 500 cases of observations at the WMO observation network, it has been shown that an average error of thunderstorm detection do not exceed 15%.

Вариации общего содержания озона в азиатском регионе по данным наземных и спутниковых измерений

Вишератин К.Н.[1] (kvisher@rpatyphoon.ru), Нерушев А.Ф.[1], Орозалиев М.Д.[2], Zheng Xiangdong[3], Sun Shumen[4], Liu Li[4]
[1]НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Калужская обл., Россия
[2]Кыргызский государственный национальный университет, Бишкек, Кыргызская республика
[3]Китайская академия метеорологических наук, Пекин, КНР
[4]Институт информационных технологий Ченгду, Ченгду, КНР

Пространственное распределение и временная изменчивость общего содержания озона (ОСО) и обуславливающие их причины на протяжении многих лет являются актуальной

проблемой физики атмосферы. Настоящая работа посвящена исследованию временной изменчивости ОСО в центральном и юго-восточном азиатских регионах методами спектрального и вейвлетного анализа на основе сопоставления данных измерений наземных станций мониторинга ОСО Хуанхе (№ 208), Кунмин (№ 209) и Иссык-Куль (№ 347) и спутниковых измерений приборами SBUV/SBUV2, OMI (AURA) и китайского прибора TOU (Total Ozone Unit) на борту спутника FengYun-3/A.

Расчеты относительного отклонения между данными наземных и спутниковых измерений показали общее хорошее согласие наземных и спутниковых измерений (рассогласование менее 3%) для всех трех станций. Согласно результатам спектрального (Фурье) анализа, распределение амплитуд и периодов колебаний очень схоже для всех анализируемых рядов, особенно в области 14–30 мес. Одной из причин, обуславливающих общие закономерности временной изменчивости ОСО в этом регионе, могут быть мощные горные системы Средней и Центральной Азии (Гималаи, Тань-Шань, Памиро-Алай, Тибетское плато), оказывающие существенное влияние на высотные струйные течения, которые, как известно, во многом определяют как пространственное распределение, так и временную изменчивость ОСО.

Более детальный анализ данных был проведен с помощью кросс-вейвлетного анализа. Этот метод дает возможность определить степень корреляции и фазовые соотношения между двумя рядами на частотно-временном пространстве, а также оценить методом Монте-Карло значимость корреляционных соотношений. Кросс-корреляционный анализ показал, что межгодовые колебания ОСО по спутниковым и наземным данным для значительной части периодов и во времени происходят в одной фазе. Вместе с тем для периодов более 8 лет в последнее десятилетие максимумы колебаний озона по измерениям на станции Хуанхе стали опережать максимумы колебаний по спутниковым данным, а для периодов более 140 мес. колебания близки к противофазным. Полученные композитным методом фазовые соотношения между наземными и спутниковыми данными хорошо согласуются с данными кросс-вейвлетного анализа и подтверждают с помощью независимого метода наличие рассогласованности в фазах длиннопериодных колебаний ОСО, начиная примерно с 1995 года. Причины такого расхождения неясны.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проекты № 14-05-00127, № 14-05-90104 и Программы сотрудничества между Росгидрометом и Китайским метеорологическим управлением (проект 1.3).

Variability of total ozone in the Asian region inferred from ground-based and satellite data

K.N. Visheratin[1] (kvisher@rpatyphoon.ru), A.F. Nerushev[1], M.D. Orozaliev[2], Zheng Xiangdong[3], Sun Shumen[4], Liu Li[4]

[1]*Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia*
[2]*Kyrghyz State National University, 101 Manasa Str., 720033 Bishkek, Kyrghyzstan*
[3]*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing, China*
[4]*Chengdu Institute of Information Technology, Chengdu, China*

Total ozone (TO) spatial distribution and temporal variability and their causes are for many years an urgent problem in atmospheric physics. The present work deals with a detailed investigation of temporal variability of TO in the central and south-east Asian region with the spectral and wavelet analysis based on a comparison of measurement data obtained at ground-based TO monitoring stations Xianghe (No. 208), Kunming (No.209) and Issyk Kul (No. 347) and satellite overpass data obtained with the devices SBUV/SBUV2 (1980–2013), OMI (2005–2013) and the Chinese instrument TOU (Total Ozone Unit) on board the satellite FengYun-3/A (2009–2013).

To compare the ground-based and satellite data a relative deviation was calculated. A good agreement of ground-based and satellite measurement data (mismatch is less than 3%) for all the three stations was found. According to spectral (Fourier) analysis amplitudes and periods of

oscillations are very similar for all analyzed time series, especially for periods from 14 to 30 months. One of the reasons governing the general regularities of TO temporal variability in this region may be high mountainous systems of the Middle and Central Asia (Himalaya, Tien Shan, Pamiro-Alai, Tibetan plateau) having a significant effect on the upper jet fluxes that, as it is known, determine in many cases both the TO spatial distribution and temporal variability.

More detailed analysis of time series was carried out by means of cross-wavelet transform. This method gives a possibility to determine the degree of correlation and phase relationships between the two series in the frequency-temporal space and also to estimate the significance of the correlations. Interannual TO fluctuations for the most part of the periods and in time are occur in one phase. At the same time, for longer than 8 years periods maxima in ozone fluctuations for Xianghe station according to ground-based measurements go ahead of oscillation maxima inferred from satellite data; and for the periods longer than 140 months the oscillations are close to those in the opposite phase. The phase relationships between ground-based and satellite data obtained with the composite method are in agreement with the data of the cross-wavelet analysis and confirm with the help of an independent method the existence of misalignment in the phases of long-period TO fluctuations beginning approximately with 1995. The causes of such a discrepancy are still unknown.

The work was partly supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant № 14-05-00127, №14-05-90104), and by the bilateral cooperation agreement between Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and China Meteorological Administration (Project 1.3).

Оценки суточных сумм осадков по данным радиометров **SEVIRI/METEOSAT-10** и **AVHRR/NOAA** для юга европейской территории России

Волкова Е.В. (quantocosa@bk.ru)
НИЦ "Планета"; Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия

Автором в НИЦ “Планета” разработана Комплексная Пороговая Методика (КПМ) автоматического определения параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по спутниковым данным в круглосуточном режиме. В качестве предикторов в КПМ используются данные измерений радиометра AVHRR с полярно-орбитального спутника серии NOAA в каналах 1–5 или радиометра SEVIRI с геостационарного спутника Meteosat-10 в каналах 1–11, данные прогноза вертикальных профилей температуры воздуха и давления на уровне моря, информация о высоте места над уровнем моря, а также параметры облачного покрова и осадков, рассчитанные на предыдущих этапах классификации. Помимо характеристик облачности с помощью КПМ определяются значения мгновенной максимальной в пределах пиксела спутникового изображения интенсивности осадков, по которым можно оценивать значения их суточных сумм $\sum I$сут. Расчёты этих сумм производились в двух вариантах – предназначенных для проведения климатических исследований и для оперативного мониторинга. В обоих вариантах значения $\sum I$сут оценивались при использовании линейных регрессионных уравнений по данным о средней за сутки интенсивности осадков, которая рассчитывалась по серии классифицированных спутниковых изображений. Расчеты с помощью “климатического” варианта методики являются более точными, т.к. в них используются коэффициенты регрессии, полученные по той же самой месячной выборке, для которой рассчитываются $\sum I$сут. Однако для его реализации необходимо иметь данные наземных измерений $\sum I$сут. Расчеты с помощью “оперативного” варианта методики менее точны, однако они позволяют достаточно быстро оценить степень увлажнения территории за прошедшие сутки, т.к. в них используются коэффициенты регрессии, зависящие только от номера календарного дня.

Рассчитанные по данным обоих радиометров значения суточных, месячных и годовых сумм осадков хорошо согласуются с результатами наземных наблюдений и отражают общую

тенденцию выпадения осадков на исследуемой территории за рассматриваемый временной период. При этом оценки, построенные по информации SEVIRI/Meteosat из-за более низкого пространственного разрешения оказываются более сглаженными, чем полученные по данным AVHRR/NOAA, которые в свою очередь могут несколько отличаться от реальных из-за неравномерного распределения в течение суток моментов времени спутниковых наблюдений. Комбинированные (AVHRR+SEVIRI) оценки, полученные как среднее арифметическое оценок $\sum I$сут по спутниковым данным обоих видов, позволяют избежать недостатков, присущих информации каждого из видов, и часто лучше согласуются с результатами наземных наблюдений. В целом можно сказать, что чем больше период времени и размеры территории, для которых производятся оценки сумм осадков по спутниковым данным, тем лучше эти оценки согласуются с данными наземных измерений. Появление возможности получения с помощью "оперативного" варианта КПМ оценок $\sum I$сут по спутниковым данным в режиме реального времени позволило бы поставить вопрос о построении не только диагностических, но и прогнозных моделей увлажнения обширных территорий.

Daily precipitation estimation from SEVIRI/METEOSAT-10 and AVHRR/NOAA for the south of the European territory of Russia

E.V. Volkova (quantocosa@bk.ru)
State Research Centre of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

The developed Complex Threshold Method (CTM) of the automatic pixel-by-pixel classification of AVHRR/NOAA and SEVIRI/Meteosat-10 data is intended for detecting the cloud mask and determining cloud parameters, precipitation and weather hazard areas of various intensity for day and night all year round conditions in the temperate zone above land (including low mountains), water and snow/ice surfaces. The method utilizes satellite observations and additional data such as weather forecasts of vertical air temperature and atmosphere pressure at the sea level distributions. The thresholds for the predictors are calculated by the empirically derived equations based on the sun height, the calendar date, the latitude, the height above the sea level, etc. Cloud and precipitation parameters determined by the CTM on the previous steps can be included in the further classification.

The method was tested on the satellite, climatologic and ground-based meteorological and radar dataset archived for the region 46.7–63.0°N, 20.0–51.3°E in 1998–2014. The assessments of all derived cloud parameters show a good correlation with the average climatologic and the World Meteorological Organization estimations as well as with radar and meteorological cloud and precipitation ground-based observations. Along with other cloud and precipitation parameters the CTM obtains the pixel maximum instant precipitation rate. This allows computing daily precipitation amount (DPA). The author proposes two approaches – for the purposes of climatic researches and for weather monitoring. To calculate DPA both algorithms multiply the average daily precipitation rate (produced with the daily set of satellite images) by the empirically determined coefficient. The "climatic" coefficient-constant is retrieved for the same monthly satellite data set, yet the continuously changing "dynamic" coefficient relies on the calendar number of the day during the year. Estimations of DPA using "climatic" coefficients demonstrate higher precision when comparing with the ground-based observations. The main limitation of this approach is the necessity of possessing ground-measured DPAs. Application of "dynamic" coefficients though lacks accuracy however allows retrieving DPA quite immediately.

The assessments of derived daily, monthly and yearly precipitation amounts by the both approaches show a good correlation with meteorological observations (gauges), though the SEVIRI-fields look more smoothly (due to the bigger size of pixel) compared with the AVHRR and ground-based fields. Yet the AVHRR DPA-fields can demonstrate lower correlation because of the inhomogeneous distribution of satellite observations during the day. Combined (AVHRR&SEVIRI) images (average between the two satellite derivations) lack shortcomings of either data. On the

whole, the more are the period of time and the size of the territory, the more accurate are precipitation amount estimations. The author suggests that the satellite-derived daily, monthly and yearly precipitation amount fields can be efficiently used for visual monitoring and climatic researches and also for utilizing in the Land Surface Models for calculating moisture conditions of vast territories.

Спутниковое зондирование внетропических циклонов со штормовыми и ураганными ветрами над северными частями Тихого и Атлантического океанов

Митник Л.М.[1] (lm_mitnik@mail.ru), Заболоцких Е.В.[2], Митник М.Л.[1], Гурвич И.А.[1]
[1]Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская *43, 690041* Владивосток, Россия
[2]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

Северные части Атлантического и Тихого океана характеризуются интенсивной циклонической деятельностью, обеспечивающей перенос тепла и влаги между низкими и высокими широтами, что предопределяет актуальность изучения внетропических циклонов (ВТЦ). В холодный период года из-за роста температурных контрастов между холодными материками и относительно теплой поверхностью прилегающих к ним морей и теплых течений (Гольфстрим, Куросио) циклоническая деятельность активизируется. Скорость ветра в циклонах достигает штормовой ($W \geq 25$ м/с), а в некоторых случаях и ураганной ($W \geq 33$ м/с) силы. Для изучения характеристик, структуры и динамики внетропических циклонов (ВТЦ) в процессе их жизненного цикла были использованы спутниковые данные в различных диапазонах длин волн. Основное внимание уделено пассивным и активным измерениям в микроволновом диапазоне. Поля гидрометеорологических параметров – паросодержания атмосферы *V*, водозапаса облаков *Q*, интенсивности осадков *R* и скорости приводного ветра *W* восстанавливались по данным зондирования микроволновых радиометров AMSR-E (спутник Aqua), AMSR2 (спутник GCOM-W1) и GMI (спутник GPM). Алгоритмы оценки параметров были разработаны на основе массивов расчетных значений яркостных температур $T_{ЯВ,Г}(\nu)$ на частотах ν спутниковых радиометров на вертикальной (В) и горизонтальной (Г) поляризациях. Входными данными служили вертикальные профили температуры, давления и влажности атмосферы, измеренные судовыми и островными радиозондами в различных районах Мирового океана, дополненные модельными вертикальными распределениями водности облаков.

В докладе рассмотрены основные особенности усовершенствованных алгоритмов, обеспечивающих восстановление параметров *V*, *Q*, *R* и *W* с меньшими погрешностями по сравнению с применявшимися ранее. Важным достоинством этих алгоритмов является возможность оценки параметров в зонах ВТЦ с высокими скоростями ветра, что обусловлено использованием в качестве погодного фильтра нового параметра – интегрального поглощения в атмосфере на ν = 10.7 ГГц, а не поляризационной разности $T_{ЯВ}(36) - T_{ЯГ}(36)$ на ν = 36.5 ГГц.

Для детального анализа были выбраны глубокие внетропические циклоны, которые наблюдались над северными частями океанов в 2012–2015 гг. Повышение временного разрешения при изучении эволюции ВТЦ обеспечивалось привлечением полей приводного ветра, восстановленным по данным скаттерометров ASCAT со спутников MetOp-A, MetOp-B и OSCAT со спутника Oceansat-2. Изменчивость структуры поля облачности определялась по видимым и инфракрасным изображениям, полученным спектрорадиометром MODIS с полярно-орбитальных спутников Aqua и Terra, а также многоканальными имиджирами с геостационарных спутников Meteosat-8-10 (EUMETSAT) над Атлантикой и Himawari-7/8 (Япония) над Тихим океаном. Поля осадков для нескольких циклонов были определены по данным двухчастотного радиолокатора DPR на спутнике GPM. В качестве дополнительной

информации привлекались синоптические карты приземного анализа и барической топографии, данные радиозондирования атмосферы и др.

При совместном анализе спутниковых и сопутствующих подспутниковых наблюдений было показано, что по мере смещения на север-восток циклоны интенсивно углубляются, особенно при выходе с теплых вод Куросио и Гольфстрима на более холодные акватории. Скорость ветра при этом резко возрастает и в ряде случаев достигает штормовых и ураганных значений, а высота волн увеличивается до 6–7 м и более. В зоне фронтальной системы циклонов отмечаются резкие изменения характеристик. Зоны высоких градиентов приводного ветра и паросодержания атмосферы используются для определения положения и слежения за эволюцией атмосферных фронтов. Структура фронта у поверхности океана отчетливо проявляется на изображениях РСА со спутников Envisat Sentinel-1A.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта ДВО РАН 15-I-1-009_о.

Satellite sensing of extratropical cyclones with storm and hurricane-force winds over the North Atlantic and Pacific Oceans

L.M. Mitnik[1] (lm_mitnik@mail.ru), E.V. Zabolotskikh[2], M.L. Mitnik[1], I.A. Gurvich[1]
[1]*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, 43 Baltiyskaya str., 690041 Vladivostok, Russia*
[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 Saint-Petersburg, Russia*

The northern parts of the Atlantic and the Pacific Oceans are characterized by intense cyclonic activity, which provides the heat and moisture transfer between low and high latitudes, which determines the high priority of the extratropical cyclones study. During the cold period of the year due to rising temperature contrasts between cold continents and relatively warm surface of the adjacent seas and warm currents (Gulf Stream, Kuroshio) the cyclonic activity is enhanced. Wind speed reaches storm ($W \geq 25$ m/s) and, in some cases, hurricane ($W \geq 33$ m/s) force. To study the characteristics of the structure and dynamics of extratropical cyclones (ETC) in the course of their life cycle satellite data in different wavelength ranges were used. The main attention was given to passive and active measurements in the microwave range. Fields of hydrometeorological parameters – the total atmospheric water vapor content V, the total cloud liquid water content Q, the rain rate R, and the sea surface wind speed W were retrieved from sensing data of microwave radiometers Aqua AMSR-E, GCOM-W1 AMSR2, and Global Precipitation Measurements (GPM) GMI. Retrieval algorithms have been developed on the basis of the simulated values of brightness temperatures $T_{BV,H}(\nu)$ on the vertical (V) and horizontal (H) polarization at frequencies ν of satellite radiometers. The input data were vertical profiles of temperature, pressure and humidity of the atmosphere, as measured by ship and island radiosondes in different areas of the oceans, supplemented by model vertical distributions of cloud liquid water content.

The report describes the main features of advanced algorithms for the retrieval of the V, Q, R and W parameters which are characterized by fewer errors compared to the previously used. An important advantage of these algorithms is the possibility of estimating the parameters in the ETC zones with high wind speeds. It is due to using the new parameter, the integrated absorption in the atmosphere at ν = 10.7 GHz as a weather filter rather than polarization differences $T_{BV}(36)$–$T_{BH}(36)$ at ν = 36.5 GHz.

For a detailed analysis deep extratropical cyclones, which have been observed over the northern parts of the oceans in 2012–2015 were selected. Increase of the temporal resolution in the study of the ETC evolution provides by sea surface wind fields, retrieved from MetOp-A and MetOp-B ASCAT and Oceansat-2 OSCAT scatterometers. Variability of the cloud structure was determined by analysing the visible and infrared images obtained by MODIS spectroradiometer on Aqua and Terra polar-orbiting satellites as well as multi-channel imagers from Meteosat-8-10 (EUMETSAT) over the Atlantic Ocean and Himawari-7-8 (Japan) over Pacific Ocean geostationary satellites. Precipitation fields for several cyclones were determined from the GPM dual-frequency radar DPR. Synoptic maps of the surface analysis and baric topography, radiosonde and others data were involved as additional information.

The joint analysis of the satellite and associate subsatellite information has shown that cyclones deep intensively as they shift to the north-east, especially when leaving the Gulf Stream and Kuroshio warm waters. The wind speed at the same time increases dramatically and in some cases reaches storm and hurricane values, and wave height increases to 6–7 m or more. Sharp changes in the hydrometeorological characteristics are observed in the cyclone frontal zones. Zones of high gradients of surface wind speed and the atmospheric water vapor content are used to determine the position and to track the evolution of atmospheric fronts. The structure of the front at the surface of the ocean is clearly manifested in the Envisat and Sentinel-1A SAR images.

This work was partially supported by a grant FEB RAS 15-I-1-009_o.

Влияние глубоких атмосферных циклонов на фитопланктон в высоких широтах: спутниковое исследование Баренцево моря

Морозов Е.[1,2], Кондрик Д.[1,3], Федорова А.[1,4],
Поздняков Д.[1,5] (dmitry.Pozdnyakov@niersc.spb.ru), Танг Д.[6], Петтерссон Л.[6]
[1]Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, *14*-я линия В.О. *7, 199034* С. Петербург, Россия
[2]Отдел экологии, окружающей среды и наук о растительности, Стокгольмский университет, Швеция
[3]Отдел океанологии, Научно-исследовательский институт Арктики и Антарктики, С. Петербург, Россия
[4]Кафедра океанологии, Институт наук о земле, С.Петербургский университет, Россия
[5]Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия
[6]Главная лаборатория тропической океанографии, Южно-Китайский океанологический институт, Гуанджоу, Китай

Пилотное спутниковое исследование вариаций в поле фитопланктона в зоне слоя перемешивания, обусловленных циклонами было впервые осуществлено в акватории Баренцева моря (БМ). На основе синергетического подхода выявлялись циклоны и отслеживалось их перемещение по БМ с использованием данных NCEP/NCAR на летний период 2003–2013 гг. Сила приповерхностного ветра восстанавливалась по данным QuikSCAT. Эти данные совмещались с данными SeaWiFS и MODIS по цвету океана, позволявшими отлеживать пространственно-временную динамику поля концентрации хлорофилла (chl) фитопланктона в поверхностном водном слое вдоль траектории циклона. Температура поверхности моря восстанавливалась по данным MODIS.

Было выяснено, что знак, амплитуда и длительность возмущения поля концентрации chl совокупно определяются такими факторами, как конкретная траектория прохождения циклона по акватории БМ, его барическая глубина, а также скорость приповерхностного ветра. Спутниковые данные, собранные более чем за десятилетный период, свидетельствуют, что в зоне трактории прохождения циклона происходит повышение chl. По абсолютной величине она в большинстве случаев не превышает 1–2 g l^{-1}, что, однако, является существенным возмущением, учитывая, что средняя величина chl в БМ составляет порядка 1 g l^{-1}. Тем не менее, такие возмущения в пределах полосы траектории циклона (составляющей в среднем около 14% от общей площади БМ) длятся лишь от нескольких дней до двух недель. При этом за вегетационный период (апрель–август, редко продолжающийся до середины сентября) число циклонов, определяемых по снимкам в видимом и ИК диапазонах спектра, составляет 2–3.

В свете сказанного, можно полагать, что изученные циклоны едва ли способны существенно увеличить годовую первичную продукцию в БМ. Более того, эта оценка может быть распространена и на пелагиальную зону всего Арктического бассейна, которая, как известно, является низкопродуктивной и над которой в течение вегетационного периода характерна мощная облачность.

Influence of deep atmospheric cyclones on phytoplankton at high latitudes: a satellite-based study on the Barents

E. Morozov[1,2], D. Kondrik[1,3], A. Fedorova[1,4],
D. Pozdnyakov[1,5] (dmitry.Pozdnyakov@niersc.spb.ru), D. Tang[6], L. Pettersson[6]
[1]*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line V.I., 199034 St. Petersburg, Russia*
[2]*Department of Ecology, Environment and Plant Sciences, Stockholm University, Stockholm, Sweden*
[3]*Department of Oceanology, Arctic and Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia;*
[4]*Department of Oceanology, Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*
[5]*Nansen Environmental and Remote Sensing Centre, Bergen, Norway*
[6]*State Key Laboratory of Tropical Oceanography, South China Institute of Oceanology, Guangzhou, China*

A pilot satellite-based investigation of modulations exerted upon mixed-layer phytoplankton fields by cyclones was performed for the first time across a selected part in the Arctic Ocean, the Barents Sea (BS). Resorting to a synergistic approach, cyclones were first identified from NCEP/NCAR data for the summer period during 2003–2013, and their propagation throughout the BS was further surveyed. The above-water wind force was retrieved from QuikSCAT data. These data were further accompanied by ocean colour data from SeaWiFS and MODIS to examine the spatial and temporal distributions of surficial phytoplankton chlorophyll (chl) concentration dynamics along the trajectory of the cyclone's footprint across the sea. Sea surface temperature was retrieved from MODIS data.

The specific trajectory of cyclone passage across the BS area, depression depth, and wind speed proved to be conjointly the main factors determining the sign, amplitude, and duration of modulations of phytoplankton chlorophyll concentration. The spaceborne data obtained over more than a decade indicate that, on balance, the cyclone passage led to increase in chl within the cyclone footprint area. On average, this increase did not exceed 1–2 g l^{-1}, which is nevertheless appreciable given that the mean chl within the cyclone footprint rarely exceeded 1 g l^{-1}. However, chl enhancement within the footprint area lasted only within the range of a few days to a fortnight, with the footprint area generally accounting for about 14% of the BS area. During the vegetation season (April–August, rarely till mid-September), the number of cyclones prone to optical and infrared remote sensing was about 2–3.

In light of the above, arguably the cyclones studied are hardly capable of boosting annual primary productivity in the BS. Moreover, it can be conjectured that the same conclusion can be drawn with respect to the pelagic Arctic tracts that are generally less productive and more extensively cloud-covered than the BS. However, this supposition requires further studies in order to advance our understanding of the actual role of c cyclones in modulation of Arctic Ocean productivity and ecosystem functioning.

Абсолютная калибровка и валидация данных измерений аппаратуры МТВЗА-ГЯ КА "МЕТЕОР-М" N 2 в каналах атмосферного зондирования

Успенский А.Б.[1] (uspensky@planet.ittp.ru), Козлов А.А.[1], Крамчанинова Е.К.[1],
Стрельцов А.М.[2], Черный И.В.[2], Косцов В.С.[3]
[1]НИЦ "Планета", Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия
[2]НТЦ «КОСМОНИТ» ОАО «Российские Космические системы», ул. Профсоюзная *84/32, 117997* Москва, Россия
[3]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская ул. *1, 198504* Санкт-Петербург, Россия

В состав целевой аппаратуры КА «Метеор-М» № 2 (запущен в июле 2014 г.) входит микроволновой сканер-зондировщик МТВЗА-ГЯ. Этот микроволновой радиометр имеет 29 каналов в частотном диапазоне 10.6–183.3 ГГц и коническую схему сканирования с полосой обзора 1500 км. Угол визирования составляет 53.3 , угол падения 65 . Бортовая калибровка

каналов МТВЗА-ГЯ, т.е. переход от сигналов к антенным температурам, осуществляется по двухточечной схеме с использованием излучения имитатора АЧТ и реликтового излучения.

Рассмотрены методы валидации и абсолютной калибровки данных измерений в каналах температурного (52–57 ГГц) и влажностного (183.3 ГГц) зондирования аппаратуры МТВЗА-ГЯ. Абсолютная калибровка представляет переход от антенных к радиояркостным температурам и выполняется с помощью регрессии на референсные радиояркостные температуры. Референсные температуры моделируются с помощью высокоточных радиационных расчетов для специально выбранных природных полигонов. В расчетах используются выходные продукты численного прогноза погоды, кроме того, для расчетов привлекаются данные об излучательной способности подстилающей поверхности, извлеченные из базы данных открытого доступа.

Получены количественные характеристики физической достоверности данных МТВЗА-ГЯ в каналах атмосферного зондирования. На материале спутниковых данных за период январь–март 2015 г. определен набор регрессионных коэффициентов для коррекции 1-го приближения абсолютной калибровки, заданного разработчиком аппаратуры. Применение созданной процедуры коррекции абсолютной калибровки позволило уменьшить величины смещений и стандартных отклонений фактических радиояркостных температур от референсных до требуемого уровня в большинстве каналов.

Absolute calibration and validation of MTVZA-GYa data in atmospheric sounding channels

A.B. Uspensky[1] (uspensky@planet.ittp.ru), E.K. Kramchaninova[1], A.A. Kozlov[1], A.M. Streltcov[2], I.V. Cherny[2], V.S. Kostsov[3]

[1]*State Research Centre of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

[2]*STC "Kosmonit", Russian Space Systems, 84/32 Profsouznaya str., 117007 Moscow. Russia*

[3]*Saint-Petersburg State University, Physics Dept., 1 Ulianovskaya st., 198510 Saint-Petersburg, Russia*

One of key instruments onboard "Meteor-M" N 2 satellite (launched in July 2014) is microwave imager/sounder MTVZA-GYa. This instrument (Module for Temperature and Humidity Sounding of the Atmosphere) is a passive microwave radiometer with 29 channels in 10.6–183.3 GHz frequency range and conical scanning regime. The viewing angle is 53.5 and the incidence angle with respect to the Earth surface is 65 . The swath width is about 1,500 km. A two-point in-flight calibration technique is used for converting the signals in MTVZA-GYa channels to antenna brightness temperatures (ABT). During MTVZA-GYa commissioning phase it is found that the ABTs differ from calibrated sensor brightness temperatures (SBT) due to various calibration errors sources.

The technique has been developed and tested for absolute calibration (i.e. SBT derivation) and validation data in MTVZA-GYa temperature (52–57 GHz) and humidity (183.3 GHz) sounding cannels. To derive SBT the regression methods are applied and the modeled brightness temperatures are used as reference data. For reference data calculation over ocean areas the microwave radiative transfer code was utilized together with NWP products, radiosonde and GPS RO data. Using satellite data for the January–March 2015 period a set of regression coefficients has been defined for the correction of the absolute calibration. Implementation of these coefficients provided significant reducing of systematic biases between measured and reference brightness temperatures. The details of MTVZA-GYa data calibration and validation procedures are under discussion.

Определение содержания CO_2 по измерениям метеорологического спутника МЕТЕОР-М №2

Рублев А.Н. (alex.rublev@mail.ru), Кухарский А.В., Успенский А.Б., Зысина Н.Ю.
НИЦ "Планета", Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия

Новый инфракрасный Фурье-спектрометр ИКФС-2 на борту метеорологического спутника Метеор-М № 2 может быть использован для обнаружения изменения концентраций углекислого газа в атмосфере. Возможность оценок относительного содержания (X_{CO2}) атмосферного углекислого газа с помощью спутниковых измерений имеет большое значение для исследований изменения климата и глобального углеродного цикла из-за редкой сети наземных измерений CO_2.

Основные цели наших исследований были следующие:

совершенствование методики восстановления X_{CO2} по комбинации данных ИКФС-2 с имеющими высокое пространственное разрешение измерениями сканера МСУ-МР, установленном на том же спутнике, а также с температурным профилем, рассчитанным глобальной моделью прогноза погоды NCEP;

проверка спутниковых оценок X_{CO2} по данным наземных измерений.

Предложен новый подход, основанный на определении оптической толщины CO_2 в специально отобранных пикселях по измерениям в нескольких каналах ИКФС-2 в районе 12.5 мкм. Выбор каналов ИКФС-2 был сделан с помощью известной модели радиационного переноса LBLRTM. Обрабатываемые подспутниковые пиксели отбираются по результатам измерений МСУ-МР. Критерием является небольшой разброс яркостных температур в пятом канале МСУ-МР в пределах пикселя ИКФС-2.

Первые результаты валидации разработанного метода были получены путем сравнения спутниковых оценок X_{CO2} с данными натурных измерений для двух географических районов: Центральной Сибири (международная лаборатория высотной мачты ZOTTO, Уссурийский район) и Гавайях (обсерватория NOAA на Мауна-Лоа).

CO_2 retrieval from METEOR-M #2 measurements

A.N. Rublev (alex.rublev@mail.ru), A.V. Kuharsky, A.B. Uspensky, N.Yu. Zysina
State Research Centre of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

The new Russian infrared Fourier-spectrometer IRFS-2 boarded on Meteror-M #2 meteorological satellite can be used for detecting the variations of atmospheric carbon dioxide concentrations. The ability to retrieve atmospheric CO_2 mixing ratio (X_{CO2}) from satellite measurements is of significant importance in the context of global carbon cycle research, climate change studies due to sparse network of ground-based CO_2 observations.

The main objectives of our studies were as follows:

development of the technique for X_{CO2} retrieval from IRFS-2 data using its combination with high spatial resolution measurements of MSU-MR instrument boarded on the same satellite as well as with a prognostic temperature profile from NCEP weather forecast model;

validation of satellite based X_{CO2} retrievals against ground-based CO_2 measurements.

A new method of X_{CO2} retrieval is proposed. It is based on determination of CO_2 optical thickness in several IRFS-2 channels near 12.5 m for specially selected atmospheric scenes. The choice of channels has been realized using LBLRTM radiative transfer model. Atmospheric scenes are selected from MSU-MR measurements. The criterion of selection is the small variation of brightness temperatures in the fifth channel MSU-MR within IRFS-2 pixel.

The first results of validation for developed method have been obtained by comparison of measured X_{CO2} with collocated in situ observations for two geographical regions: Central Siberia (the Zotino tall tower observation facility, Ussuriysk region), and Hawaii (NOAA Mauna Loa Observatory).

Интеркалибровка длинноволновых каналов сканеров геостационарных спутников по данным гиперспектральных ИК-зондировщиков

Киселева Ю.В. (volhonoko@mail.ru), Рублев А.Н.
НИЦ "Планета"; Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия

Описана методика интеркалибровки длинноволновых каналов радиометров гидрометеорологических геостационарных спутников по данным гиперспектральных ИК-зондировщиков полярно-орбитальных спутников. Представлены результаты работ по калибровке отечественного радиометра МСУ-ГС/«Электро-Л» №1 с использованием данных измерений зондировщика AIRS/Aqua над Индийским океаном около точки стояния российского геостационара. Радиационные температуры, полученные непосредственно измерениями в каналах МСУ-ГС, сравниваются с температурами, вычисленными по данным измерений AIRS с учетом спектральной чувствительности каналов МСУ-ГС. Методика позволяет компенсировать погрешности калибровки, вызываемые попаданием участков суши или облачности в поле зрения обоих приборов.

Intercalibration of long-wavelength channels of geostationary satellite instruments and hyperspectral IR-sounders

Y.V. Kiseleva (volhonoko@mail.ru), A.N. Rublev
State Research Centre of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

A method of intercalibration between long-wavelength channels of geostationary satellite instruments and hyperspectral IR-sounders of polar-orbiting satellite is presented. The results are shown for MSU-GS scanner installed on Russian "Electro-L" №1 geostationary satellite and AIRS IR-sounder installed on Aqua polar orbiting satellite. Intercalibration was performed above Indian Ocean near sub-satellite point of Russian geostationary satellite. Brightness temperatures measured in channels of MSU-GS were compared with calculated temperatures obtained from AIRS measurements taking into account spectral response functions of MSU-GS channels. The proposed method allows eliminating the calibration errors caused by possible presence of land or cloud in the fields of view of both instruments.

Программная визуализация спутниковой информации в RGB-композиции и анализ катастрофических ситуаций

Ерошкина Н.А.[1] (nadezhda_eroshkina@mail.ru), Горлач И.А.[1,2], Полюхов А.А.[1]
[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991*
[2]Гидрометцентр России, Б. Предтеченский пер. *11–13, 123242* Москва, Россия

С развитием спутниковых технологий и расширением их применения в метеорологических исследованиях возросло и количество получаемой информации. В последние годы активно создаются RGB-композиции, которые визуализируют данные, полученные в различных диапазонах длин волн. К примеру, EUMETSAT предоставляет RGB-композиции, позволяющие определить типы воздушных масс, микрофизику облаков или области конвекции. Данные композиции очень полезны при ручном (неавтоматизированном) анализе фактической синоптической ситуации, однако их количество осложняет и замедляет обработку визуальной информации человеком (метеорологом). К сожалению, сейчас нет свободного программного обеспечения, с помощью которого можно самостоятельно создавать RGB-композиции и искать наиболее удачные сочетания каналов.

Для преодоления данной проблемы был написан программный продукт EVSI. Данный программный продукт был разработан на языке программирования C++. Он позволяет пользователю гибко выбирать, какой тип спутниковой информации будет находиться в том или ином цветовом канале. Цель разработки – найти более эффективный вариант

предоставления спутниковых данных, способствующий удобству анализа получаемых изображений. Входными данными для созданной программы являются результаты сканирования атмосферы спутником METEOSAT-10. Это 12-канальный радиометр, находящийся на геостационарной орбите на 0º з.д. Каждые 15 минут METEOSAT-10 передает на Землю данные со всего обозреваемого диска планеты. Используя программный продукт EVSI, мы создали RGB-композицию, позволяющую провести начальный анализ синоптической ситуации над заданным регионом, не прибегая к другим источникам информации. В данной композиции совмещается информация, полученная в канале 10.8 и 6.2 мкм, а также разность каналов 6.2 и 7.3 мкм, что позволяет одновременно получить информацию о характере воздушной массы, конвективной деятельности, а также общей структуре облачности. Важным преимуществом данной композиции является представление структуры облачности привычными белыми областями, которые делают ее хорошо различимой визуально и, следовательно, упрощают анализ. Облака вертикального развития, часто закрытые перистой облачностью в видимом диапазоне, связанные с ними области осадков и возможные опасные явления погоды выделяются на фоне другой облачности ярко-голубыми оттенками на белом фоне, что способствует быстрому обнаружению областей осадков, их анализу и прогнозу синоптической ситуации в данном регионе. Дополнительно созданная RGB-композиция позволяет получать информацию о свойствах воздушных масс, что также немаловажно для анализа синоптической ситуации. Например, сухим и горячим воздушным массам соответствуют области красно-розового цвета, холодным и сухим – синие области.

Апробируя созданную RGB-композицию, мы проанализировали несколько различных синоптических ситуаций на территории Европы, таких как: ураган Святой Иуда (28 октября 2013 года), циклон Эла (11 июня 2014 года), наводнение в Кубани (6 июля 2012 года) и протяженный холодный фронт, надвигающийся на атлантическое побережье Европы (8 марта 2015 года). Во всех случаях данная RGB-композиция показала свою эффективность и удобство.

On the software visualization of the satellite information in RGB-composition and catastrophic situations analysis

N.A. Eroshkina[1] (nadezhda_eroshkina@mail.ru), I.A. Gorlach[1,2], A.A. Polyukhov[1]
[1]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia*
[2]*Hydrometeorological Research Centre of Russian Federation, 11–13 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

With the evolving satellite technology and the development of their use in meteorological research, the amount of receiving information grew up too. In recent years, RGB-compositions are creating actively, which are visualizing different wavelengths data. For example, EUMETSAT provides RGB-compositions, which helps to determine the types of air masses, the microphysics of clouds or the convection region. These compositions are useful in the manual analysis of the actual synoptic situation, but their number complicates and slows down the manual processing of visual information. Unfortunately, any free software is unusable for individual making the RGB-images and searching for the best combination of channels.

To overcome this problem we made software EVSI. This software was written in the programming language C++. The user can choose the type of satellite information for each color channel with this software.The purpose of our work is to create a more efficient way to provide satellite data, which will be more easy and useful for analysis of the obtained images. The input data for our program are results of the atmospheric scanning by satellite METEOSAT-10. It is a 12-chanell radiometer, positioned on the geostationary orbit at 0 degrees. Every 15 minutes METEOSAT-10 provided full disc imagery. With this software (EVSI) RGB-composition, which is usable for the primary analysis of the synoptic situation over a required region without any other information, was created. This composition is combined the information of the channel 10.8 and

6.2 µm, and the difference of channels 6.2 and 7.3µm. Character of the air mass, convective activity and general structure of clouds – both of this information a user can get with EVSI. It is important, the cloud structure looks like white areas, so it is easy to differentiate and analyze. Towering clouds with precipitate regions and potential severe weather activity is colored in bright-blue on a white background. All of it helps to fast detection, analyze and forecast weather in this region. Additionally, RGB-composition helps to find information about the properties of air masses, which is also important for the synoptic analysis. For example, dry and hot air masses colored in red-pink, cold and dry – in the blue shades.

For the testing this RGB-composition some different weather situations in Europe (such as: St. Jude storm (28.10.2013), low pressure area Ela (11.06.2014), the 2012 Krasnodar Kraifloods (06.07.2012) and extended cold front over North-East Atlantic (08.03.2015)) had been analyzed. On all occasions our RGB-composition showed its effectiveness and convenience.

Диагностика фазового состояния облаков по данным прибора **SEVIRI**

Нгуен Т.Т. (nguyen@meteolab.ru), Мельникова И.Н., Чукин В.В. (chukin@meteolab.ru)
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196*
Санкт-Петербург, Россия

Тропосферные облака состоят из капель воды и кристаллов льда. Исследования условий образования ледяной фазы в облаках являются актуальными, поскольку кристаллы в облаках играют важную роль, влияя на гидрологический цикл и радиационный баланс посредством изменения отражательных свойств облаков и стимуляции выпадения осадков. Отсутствие оперативной информации о фазовом состоянии облаков является ограничивающим фактором для точного прогнозирования развития облаков и выпадения осадков. Получение подобной информации повысит точность прогнозов погоды и оценок региональных изменений климата. Прибор SEVIRI устанавливается на геостационарных спутниках серии MSG и имеет 12 спектральных каналов в диапазоне длин волн от 0.56 до 14.4 мкм. Первые три канала прибора регистрируют преимущественно отраженную солнечную радиацию, которая несет информацию об оптических свойствах подстилающей поверхности и атмосферы.

Предлагаемый в данной работе алгоритм определения оптических свойств облачной атмосферы основан на их зависимости от высоты Солнца, которая меняется за 15 минутный интервал времени между отдельными измерениями. Интегральная характеристика фазового состояния облаков, доля кристаллов льда в облаке (IF), оценивается по значениям водозапаса (LWP) и льдозапаса (IWP) облаков.

Diagnostic of phase state of clouds on SEVIRI data

T.T. Nguyen, V.V. Chukin (chukin@meteolab.ru), I.N. Melnikova
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia

Tropospheric clouds consist of water droplets and ice crystals. Studies of conditions of formatting the ice phase in clouds are actual, since crystals in the clouds play an important role in the hydrological cycle and the radiation balance by changing the reflective properties of clouds and precipitation stimulation. The absence of operative information on the phase state of the clouds is a limiting factor to accurately forecast of clouds and precipitation. Presence of such information will improve the accuracy of weather forecasts and assessments of regional climate change. Device SEVIRI installed on a geostationary satellite MSG has 12 spectral channels in the wavelength range from 0.56 to 14.4 µm. The first three channels of the device record mainly the reflected solar electromagnetic radiation, which carries information about the optical properties of the underlying surface and the atmosphere.

The algorithm for determining the optical properties of cloudy atmosphere proposed in this paper is based on their dependence on the height of the sun, which varies during the 15 minutes

time interval between measurements. The ice fraction (IF) is an integral characteristic of the phase state of the clouds and is estimated from the values of the liquid water path (LWP) and ice water path (IWP) of clouds.

Пространственная привязка и атмосферная коррекция спектров и изображений, регистрируемых фотоспектральной системой с борта МКС

Катковский Л.В. (katkovskyl@gmail.com), Шукайло В.Г. (valiantsinshukaila@gmail.com)
Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко БГУ, ул. Курчатова *7, 220045* Минск, Республика Беларусь

Работающая на борту Международной космической станции (МКС) по программе космического эксперимента «Ураган» фотоспектральная система (ФСС) [1, 2, 3], созданная в НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ по заказу РКК «Энергия», осуществляет измерения спектров высокого разрешения подстилающих поверхностей в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн и цветных изображений высокого пространственного разрешения. Для минимизации неточностей в относительной пространственной привязке спектров и изображений, которые являются результатом различных случайных процессов, был разработан метод уточнения положения проекции щели модуля спектрорадиометра (МС) на изображение модуля регистрации изображения (МРИ), основанный на том, что средняя яркость пикселей изображения МРИ по всем пространственным пикселям в пределах щели МС и средняя яркость МС по длинам волн (спектральным каналам спектрорадиометра МС) в пределах каждого из каналов R, G, B равны между собой (с учетом неоднородной угловой чувствительности МС и спектральных чувствительностей МРИ в каналах цветности), поскольку относятся к одному и тому же участку подстилающей поверхности. Итеративно производя сдвиги положения щели МС на изображении и рассчитывая среднеквадратичное отклонение разницы сигналов МС и МРИ в пределах щели спектрометра, можно найти положение щели МС на изображении МРИ, более соответствующее сигналу МС.

Для устранения влияния атмосферы в регистрируемых спектрах разработана инженерная методика атмосферной коррекции. Методика объединяет: а) представление спектра уходящего излучения на верхней границе безоблачной атмосферы в виде аналитических выражений для вкладов атмосферной дымки и подстилающей поверхности с включением оптико-физических параметров, которые существенны с точки зрения теории переноса излучения; б) решение обратной задачи по нахождению неизвестных параметров; и, в) собственно, атмосферную коррекцию: учет вклада атмосферы и вычисление коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) у поверхности Земли. Для апробации методики данные ФСС, измеренные с борта МКС, сопоставлялись с данными наземных измерений КСЯ растительности Шацкого полигона из базы данных Научного центра аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины. Для анализа были отобраны участки схожей растительности, зарегистрированные ФСС и спектрорадиометром для наземных измерений FieldSpec®3 FR на расстоянии не более 30 км друг от друга.

Сопоставления спектральных кривых альбедо луговой растительности, полученных в ходе наземных измерений, и кривых альбедо, восстановленных по данным ФСС с помощью представленной методики атмосферной коррекции, продемонстрировали очень хорошее совпадение спектров, несмотря на определенное временное и пространственное несовпадение используемых наземных и космических данных.

1. Беляев Б.И., Л.В. Катковский, А.В. Роговец. Восстановление спектров земной поверхности с использованием цветных изображений высокого разрешения // Журнал прикл. спектр. 2013. Т. 80. № 1. С. 70–77.
2. Беляев Б.И., М.Ю. Беляев, Л.В. Десинов и др. Результаты испытаниий фотоспектральной системы на МКС // Иссл. Земли из косм. 2014. № 6. С. 1–13.
3. Беляев Б.И., М.Ю. Беляев, Л.В. Десинов и др.Обработка спектров и изображений с фотоспектральной системы в космическом эксперименте “УРАГАН” на МКС // Иссл. Земли из косм. 2014. № 6. С. 1–12.

Spatial referencing and atmospheric correction of spectra and images recorded by photospectral system from the ISS

L.V. Katkovsky (katkovskyl@gmail.com), V.G. Shukaila (valiantsinshukaila@gmail.com)
A.N. Sevchenko Scientific Institute of Applied Physics Problems BSU, 7 Kurchatova str., 220045 Minsk, Belarus

Photospectral System (FSS) working on board of the International Space Station (ISS) according the program of space experiment "Hurricane" [1, 2, 3], developed in Scientific Research Institute of Applied Physical Problems by the request of JSC RSC "Energia", provides high-resolution spectra measurements of underlying surfaces in the visible and near-infrared wavelengths and color images of high spatial resolution. To minimize inaccuracies in the relative spatial referencing of spectra and images, which are the result of different random processes, a method was developed for verifying the position of the projection of spectroradiometer module (MS) entrance slit on the image recorded by the image recording module (MRI). Method is based on the fact that the average brightness of the image pixels within the projection of MS entrance slit and the average brightness of MS signal over wavelengths (spectral channels of spectroradiometer MC) within each of the channels R, G, B are equal (taking into account the non-uniform angular sensitivity of the MS and spectral sensitivity of MRI chrominance channels), because they are attributed to the same portion of the underlying surface. Iteratively shifting the position of the projection of MS entrance slit on the image and calculating the standard deviation of the difference of signals between MS and MRI within entrance slit of the spectrometer, it is possible to find the position of the projection of MS entrance slit on MRI image that is more appropriate to signal of MS.

To eliminate the influence of the atmosphere in the recorded spectra, the engineering method of atmospheric correction was developed. The technique includes: a) the representation of the outgoing radiation spectrum at the upper boundary of the cloudless atmosphere in the form of analytical expressions for the contributions of atmospheric haze and the underlying surface with the inclusion of optical and physical parameters that are important from the point of view of the radiative transfer theory; b) the solving of the inverse problem of finding the unknown parameters and, c) the atmospheric correction: the allowance for the contribution of the atmosphere and the calculation of the coefficients of the spectral brightness (COS) at the surface of the Earth.

For testing of the method the FSS data measured from the ISS were compared with ground-based measurements of vegetation COS Shatsky polygon from the database of the Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth Institute of Geological Sciences of Ukraine. For analysis plots of similar vegetation were selected which were registered by FSS and spectroradiometer for ground-based measurements FieldSpec®3 FR at a distance of no more than 30 km apart. Comparison of the albedo spectral curves of meadow vegetation obtained during ground-based measurements, and the albedo curves restored according to the FSS using the presented techniques for atmospheric correction, showed a very good agreement between the spectra, despite some temporal and spatial mismatch of the ground and space data.

1. Restoring of the earth's surface spectra using a high resolution color images / BI Belyaev, LV Katkovsky, AV Rogovets // Journal of Applied Spectroscopy, 2013, T. 80, № 1.
2. PHOTOspectral System Test Results on Iss, Spectral Brightness Distributions of the Outgoing Radiation / B. I. Belyaev, M. Yu. Belyaev, L. V. Desinov, L. V. Katkovsky, Yu. A. Krot, E. E. Sarmin // Issledovanie Zemli iz Kosmosa 2014, No 6, p. 1-13
3. Spectral and Images Processing from Photospectral System in Space Experiment “HURRICANE” on the Iss / B. I. Belyaev, M. Yu. Belyaev, L. V. Desinov, L. V. Katkovsky, E. E. Sarmin, A. S. Skachkova // Issledovanie Zemli iz Kosmosa, 2014, No 6, p. 1-12

Арктический метан: измерения из космоса

Юрганов Л.Н.[1] (yurganov@umbc.edu), Лейфер А.[2], Джионг Д.[3], Чепурин Г.А.[3]
[1]Университет Мериленда, Балтимор, США
[2]Баблеолоджи Ресерч Интернешнл, Санта-Барбара, США
[3]Университет Мериленда, Колледж Парк, США

Глобальное увеличение концентрации метана начиная с 2007–2008 годов после десятилетия ее стабильности требует изучения и объяснения. Расположение и характер источников растущих выбросов метана по-прежнему не известны. Потепление Арктики, ускорившееся с 2007 года, стимулирует предположения относительно диссоциации метановых гидратов в Арктике и появление новой климатической положительной обратной связи. Систематические натурные измерения метана в атмосфере над Северным Ледовитым океаном (СЛО) отсутствуют. В этих условиях спутниковые измерения в среднем ИК диапазоне, где излучение Земли и атмосферы превалирует над солнечным, могут быть полезны для обнаружения и количественной оценки выбросов метана в Арктике.

В данном докладе представлен анализ стандартных измерений метана в нижней тропосфере над СЛО. Анализируются данные спектрометра AIRS/Aqua (Atmospheric IR Sounder) с 2002 года и IASI/Metop (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) с 2009 г. Как считается обычно, чувствительность спутниковых данных к нижним слоям тропосферы в среднем ИК диапазоне ниже, чем к средней атмосфере. В данной работе были определены районы и периоды в Арктике, как благоприятные, так и неблагоприятные для спутниковых измерений в среднем ИК диапазоне. Хорошо известно, что чувствительность ИК приборов к нижней тропосфере зависит от вертикального температурного градиента. Например, в условиях холодных покрытых льдом районов океана зимой и весной измерения CH_4 нижней тропосфере практически невозможны. Нами был выбран параметр, который характеризует степень зависимости чувствительности спутникового прибора от температурного контраста (ТК) в атмосфере: разность между температурой поверхности и температурой на высоте 4 км. Измерения метана при величинах ТК < 10°С были отброшены, как недостоверные. Обширные районы СЛО, тем не менее, показали достаточно большие значения ТК, включая холодный период года. Максимальные положительные аномалии концентрации метана, как для IASI, так и для AIRS наблюдатся в ноябре–декабре, т.е., во время сезонных максимумов температуры в придонных слоях океана на глубине 250–300 м. Эти и некоторые другие данные подтверждают выбросы метана придонными осадками как в прибрежных, так и в удаленных от берегов районах шельфа. Однако, спутниковые измерения с 2002 года не дают оснований говорить об увеличении интенсивности этих выбросов с годами.

Выполнено благодаря гранту NASA: “Long-term Satellite Data Fusion Observations of Arctic Ice Cover and Methane as a Climate Change Feedback”

Arctic methane: a view from satellites

Leonid Yurganov[1] (Yurganov@umbc.edu), Ira Leifer[2], Xiaozhen Xiong[3], Gennady Chepurin[4]
[1]*Joint Center for Earth Systems Technology, University of Maryland Baltimore County, 1000 Hilltop Cr., 21250, Baltimore, MD USA*
[2]*Marine Science Institute, University of California, Santa Barbara, Santa Barbara, CA USA*
[3]*NOAA Center for Satellite Applications and Research, College Park, MD USA*
[4]*University of Maryland College Park, USA*

Global increase of methane that started in 2007–2008 after a decade of stability requires investigation and explanation. Location and nature of growing methane source(s) are still unknown. Recent warming of the Arctic stimulated speculations about dissociation of methane hydrates in the Arctic and a new climatic positive feed-back. Satellite thermal IR data, in view of lacking systematic in situ measurements of methane over the Arctic Ocean, may be helpful in detecting and quantifying emissions from the Arctic.

US grating spectrometer AIRS has been delivering CH_4 tropospheric data since 2002; NOAA CH_4 retrievals from the European interferometer IASI radiation data are available since 2008 and analyzed here since 2009. Accuracy of thermal IR satellite retrievals, especially for the lower troposphere, diminishes for a cold underlaying surface. In this report this dependence is parameterized using Thermal Contrast (a difference between surface temperature and air temperature at the altitude of 4 km). The data have been adjusted for changes in the thermal contrast for the entire Arctic Ocean. The seasonal cycle of the adjusted low tropospheric data is in agreement with the surface in situ measurements. Instantaneous IASI retrievals are found to be less scattered than AIRS v6 data. Maximum positive deviations of methane concentration measured by IASI have been found for Baffin Bay in November-December, 2013. These and some other data indicate emissions both in coastal and off-shore areas. Methane over depths more than 300 m presumably is a result of methane hydrates dissociation occurring during seasonal temperature maximum in the bottom layer of the ocean. However, satellite data do not support any growth of methane emission rates with years.

Анализ возможностей мониторинга характеристик газового состава атмосферы с помощью спутниковой аппаратуры ИКФС-2

Гаркуша А.С. (saniahome@mail.ru), Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Проведено численное моделирование космического эксперимента с аппаратурой ИКФС-2 по измерениям газового состава атмосферы. На основе прямых (полинейных) расчетов оператора прямой задачи и расчетов матриц ошибок методом статистической регуляризации определены погрешности измерений общих содержаний ряда МГС атмосферы.

Показано, что прибор ИКФС-2 может быть использован для измерений общих содержаний CO_2, O_3, N_2O, CH_4 и HNO_3. В режиме накопления информации и уменьшения случайных погрешностей измерений возможно получение данных о содержании CH_3OH, HCFC-22, CFC-11, CFC-12, PAN и CCl_4. Проведены сопоставления расчетных спектров уходящего излучения с экспериментальными данными в полосах поглощения различных атмосферных газов для различных регионов земного шара. Даны оценки общих содержания озона и других газов в безоблачных условиях.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 14-17-00096).

Analysis of the possibilities to monitor the characteristics of gas composition of the atmosphere by means of the satellite instrument IRFS-2

A.S. Garkusha (saniahome@mail.ru), A.V. Polyakov, Yu.M. Timofeyev
St. Petersburg State University, Faculty of Physics, 1 Ulyanovskaya, 198504 St.Petersburg-Petrodvorets, Russia

Numerical modeling of the space-borne experiment with the IRFS-2 instrument for measurements of atmospheric gas composition has been carried out. On the basis of direct (line-by-line) calculations of the forward problem operator and calculations of the error matrix by the statistical regularization method the errors of measurements of a number of atmospheric trace gases have been obtained.

It has been shown that the IRFS-2 instrument may be used for measurements of total amount values of CO_2, O_3, N_2O, CH_4 and HNO_3. If the information collection and random error reduction mode is used, it is possible to obtain data on the amount of CH_3OH, HCFC-22, CFC-11, CFC-12, PAN and CCl_4.The comparisons of model spectra of outgoing radiation with the experimental data have been performed in the absorption bands of various atmospheric gases for various regions of

the Earth. The estimations of total amount values of ozone and other gases are presented for clear-sky conditions.

The work has been fulfilled with support of RSF (grant No 14-17-00096).

Развитие методов расчета дрейфа морского льда в Арктике с использованием спутниковых данных

Демчев Д.М.[1,2], Волков В.А.[1] (vladimir.volkov@niersc.spb.ru), Хмелева В.С.[1,3], S. Muckenhuber[4]

[1]НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", *14*-я линия В.О. *7, 199034* Санкт-Петербург, Россия

[2]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга *38, 199397* Санкт-Петербург, Россия

[3]Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. *7/9*, Санкт-Петербург, Россия

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

Дрейф морских льдов является очень важным природным параметром как для изучения климатической изменчивости Земли, так и для решения задач оперативного обеспечения морских операций. С появлением спутниковой радиолокационной информации стало возможным систематическое изучение дрейфа льда в Арктике.

Авторами предложен алгоритм восстановления полей дрейфа льда на основе автоматического анализа пары последовательных изображений с использованием новейших достижений в области методов компьютерного зрения. Метод показал устойчивость к вариации шума, яркости и контраста спутниковых изображений. Алгоритм протестирован с использованием данных Radarsat-2, ASAR и ориентирован на оперативное использование с данными спутника нового поколения Sentinel-1.

Development of sea ice drift retrieval approaches from synthetic aperture data

Denis Demchev[1,2], Vladimir Volkov[1] (vladimir.volkov@niersc.spb.ru), Viktoria Khmeleva[1,3], Stefan Muckenhuber[4]

[1]*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line Vasilievsky Island, 199034 St. Petersburg, Russia*

[2]*Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 St.Petersburg, Russia*

[3]*Saint-Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7/9, Saint-Petersburg, Russia*

[4]*Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Thormohlensgate 47, 5009 Bergen, Norway*

Motion of sea ice is very important parameter for both the climatic study and operational use. Since satellite era began, it became possible to make a systematic study of the sea ice drift. Development of the methods for sea ice drift estimation from satellite data is ongoing.

The proposed new algorithm based on an automatic analysis of pair of satellite images using state-of-the-art methods from Computer Vision. The method robust against noise/gray level/brightness variations as well as ice floe rotations. The algorithm was tested with Radarsat2/ASAR data and it is using with Senitinel-1 data.

Monitoring seasonality in phenology of Amazonian rainforests using EOS MISR and MODIS data

Yuri Knyazikhin (jknjazi@bu.edu), Jian Bi, Sungho Choi, Taejin Park, and Ranga B. Myneni
Department of Earth and Environment, Boston University, 675 Commonwealth Avenue, Room 334E USA

Monitoring of dense vegetation represents the most complicated case in remote sensing because reflection of solar radiation saturates and becomes weakly sensitive to vegetation changes. At the same time, the satellite data are strongly influenced by changing sun-sensor geometry. This makes it difficult to discriminate between vegetation changes and sun-sensor geometry effects. We showed that the use of simultaneous and/or sequential multi-angle observations allows us to unambiguously detect changes in dense forests.

This approach was applied to monitor seasonality in phenology of Amazonian rainforests using data from Terra MISR, MODIS and Aqua MODIS sensors. Analyses of several years of data from three sensors on two satellites under a range of satellite measurement geometries provide robust evidence for dry season increases in canopy structure and greenness of well-hydrated equatorial Amazonian rainforests.

Развитие методов и средств микроволновой радиометрии для определения параметров атмосферы и подстилающей поверхности

Караваев Д.М. (dm.karavaev@mail.ru), Щукин Г.Г.
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского; ул. Ждановская *13, 197198* Санкт-Петербург, Россия

В докладе обсуждаются аспекты развития метода микроволновой радиометрии для дистанционного зондирования атмосферы и поверхности Земли. Среди задач наземного зондирования на основе интерпретации нисходящего излучения атмосферы рассматриваются задачи определения влагозапаса атмосферы, водозапаса облаков, профилей температуры, профилей влажности в тропосфере и стратосфере, интенсивности осадков. Дискутируются задачи определения температурно-влажностных параметров атмосферы и характеристик поверхности по данным спутниковых микроволновых радиометров МТВЗА КА Метеор.

Выполнен анализ экспериментальных исследований влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков, выполненных с помощью наземного микроволнового радиометра, работающего на частотах 22 ГГц и 36 ГГц. Обсуждаются результаты экспериментов, выполненных в различных регионах, над океаном и сушей, при различных метеорологических условиях, результаты сравнительных экспериментов с применением данных аэрологического зондирования атмосферы. Многочисленные эксперименты показывают, что наземные микроволновые радиометрические измерения влагозапаса атмосферы хорошо согласуются с данными аэрологического зондирования атмосферы, средняя квадратическая разница (радиометр-радиозонд) при отсутствии осадков составляет около 1 кг/м^2, измерения водозапаса слоистообразных облаков находятся в согласии с эмпирическими моделями (для Северо-Западного региона России). Дискутируются полученные результаты сравнения спутниковых измерений влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков над океаном с данными судовых микроволновых радиометрических измерений.

Обсуждаются возможности повышения точности измерения влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков путем повышения метрологических характеристик аппаратуры, использования дополнительных частотных каналов вблизи центра линии водяного пара 22.235 ГГц, в окне прозрачности 75–90 ГГц, использования дополнительной априорной информации. Рассматривается возможность определения влагозапаса стратосферы на основе спектральных наблюдений собственного радиотеплового излучения атмосферы вблизи центра линии поглощения водяного пара 22.235 ГГц (или 183.31 ГГц).

Сравниваются технические характеристики современных наземных и бортовых микроволновых радиометров для исследования температурно-влажностных параметров атмосферы. Обсуждаются вопросы практического применения микроволновых радиометров при решении задач метеорологии, связанных с прогнозом опасных явлений погоды и валидацией спутниковых данных.

Development of methods and instruments of microwave radiometry to determine the parameters of the atmosphere and underlying surface

D.M. Karavaev (dm.karavaev@mail.ru), G.G. Shchukin
Mozhayskiy Military Aerospace Academy, Zdanovskaia 13, 197198 St- Petersburg, Russia

In the report aspects of developing the method of the microwave radiometry for remote sensing of the atmosphere and Earth`s surface are discussed. Among problems of ground-based sounding on the basis of the interpretation of descending radiation of the atmosphere problems of definition of integrated water vapor, cloud liquid, profiles of temperature, humidity profiles in the troposphere and stratosphere, intensity of rainfall are considered. Problems of determination of temperature and moist parameters of the atmosphere and characteristics of a surface using the MTVZA multichannel microwave radiometers on board Meteor-M satellite are discussed.

The analysis of pilot studies of integrated water vapor and cloud liquid executed by means of the ground-based microwave radiometer (22 GHz and 36 GHz) is made. Results of experiments executed in various regions over ocean and land under different meteorological conditions and comparisons with aerological sounding data are discussed. Ground-based microwave radiometric measurements of the atmospheric moisture content are well coordinated with data of aerological sounding of the atmosphere; in the absence of rainfall, rms (microwave radiometer-radiosonde) is about 1 kg/m^2. Measurements of cloud liquid of stratiform clouds are in consent with empirical models (for the Northwest region of Russia). Results of the comparison of satellite measurements of atmospheric integrated water vapor and cloud liquid water over the ocean with data of ship-based microwave radiometric measurements are discussed.

Possibilities for increasing the accuracy of retrieving the total water vapor and cloud liquid water by the improvement of metrological characteristics of the equipment, the use of additional frequency channels near the center of the vapor line 22.235 GHz, and in the range of 75–90 GHz, the use of aprioristic information are discussed. Possibility of definition of a moisture content of a stratosphere on the basis of spectral supervision near the center of the line H_2O of 22.235 GHz (and 183.31 GHz) is considered.

Technical characteristics of modern land and onboard microwave radiometers for research of temperature and moist parameters of the atmosphere are compared. Questions of practical use of microwave radiometers at a solution of the problems of meteorology connected with the forecast of the dangerous phenomena of weather and validation of satellite data are discussed.

Экспериментальная оценка возможностей наземных радиометрических приборов для мониторинга термодинамических характеристик тропосферы

Кадыгров Е.Н.(enkadygrov@gmail.com), Ганьшин Е.В, Горелик А.Г., Князев А.К., Миллер Е.А., Точилкина Т.А., Троицкий А.В
Центральная аэрологическая обсерватория, ул. Первомайская *3, 141700* Долгопрудный Моск. обл., Россия

Одной из задач построения системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации является обеспечение непрерывных измерений термодинамических параметров тропосферы. Под ними подразумевается измерение профилей температуры, общего содержания водяного пара и интегрального содержания жидкокапельной влаги в столбе атмосферы. Для этих целей все более широко в последние годы используются наземные микроволновые радиометрические системы, основанные на приеме собственного теплового излучения атмосферы в миллиметровом диапазоне волн.

В докладе представлены результаты синхронных измерений, проведенных в 2014–2015 гг. в Центральной аэрологической обсерватории с помощью различных приборов этого типа. А именно, измерения профилей температуры тропосферы производились с помощью

микроволнового температурного профилемера МТР-5 (Россия) (до высоты 1 км), многоканальных профилемеров RPG-HARPRO-G4 (Германия) и «Микрорадком» (Россия), измерения влагосодержания и водосодержания атмосферы производились с помощью комплексов «Микрорадком» и RPG-HARPRO-G4. Использовались также данные аэрологической станции «Долгопрудный» и данные специальных приемников GPS/ГЛОНАСС по общему содержанию водяного пара.

Сделаны выводы о результатах сравнений и возможностях использования наземных микроволновых радиометров в задачах мониторинга термодинамических характеристик тропосферы.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 14-05-00038.

Experimental assessment of applicabiliies of studying the tropospheric parameters by surface-based radiometric measurements

E.N. Kadygrov (enkadygrov@gmail.com), E.V. Ganshin, A.G. Gorelik, A.K. Kniazev, E.A. Miller, T.A. Tochilkina, A.V. Troitsky

Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny, Moscow reg., Russia

The system for monitoring the geophysical condition above Russian Federation includes continuous measurements of tropospheric thermodynamics. It means measurements of atmospheric temperature profiles, total water vapor and liquid water amounts. Ground-based radiometric measurements of tropospheric parameters provide useful information about temperature profiles and humidity.

During 2014–2015 at the Central Aerological Observatory (Dolgoprudny, Moscow region), measurements of temperature profiles and humidity by using different instruments were performed. The scanning microwave temperature profiler MTP-5 (Russia), the multichannel profiler RPG-HARPRO-G4 (Germany), the multichannel profiler “Microradkom” (Russia) were used for measurements of tropospheric temperature profiles. Multichannel profilers RPG-HATPRO-G4 and “Microradkom” were used for humidity measurements. Data from aerological station “Dolgoprudny” and data on the total water vapor from special receivers GPS/GLONASS were used as additional information. Results of data comparison have been positive and will be presented in the report.

This work was supported by Russian Fund for Basic Research, grant 14-05-00038.

Радиометрический метод исследования механизмов переноса растворенных атмосферных газов через морскую поверхность и образования микропузырькового слоя под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности по натурным измерениям собственных излучений атмосферы и морской поверхности в инфракрасном диапазоне

Бубукин И.Т. (bubn@nirfi.sci-nnov.ru), Бубукин В.И.

Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская ул. *25/12*а, *603950* Н. Новгород, Россия

Пленочный слой морской поверхности непосредственно граничит с атмосферой, через него идут интенсивные процессы газообмена между атмосферой и морем, и в нем максимальная концентрация растворенных атмосферных газов. Разработанные в НИРФИ методы и приборы для исследования физических процессов в пленочном слое взволнованной морской поверхности, в том числе в ИК-диапазоне, позволили исследовать его структуру и обнаружить существенное отличие диэлектрических свойств верхней части пленочного слоя, граничащего с атмосферой, от данных лабораторных измерений. Обнаруженный эффект объясняется наличием под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности слоя

(толщиной порядка десятка микрон), заполненного смесью воды и воздуха – микропузырькового слоя. Так как растворимость основных атмосферных газов (кислорода и азота) в морской воде определяет температура воды в поверхностной температурной пленке, то в случае холодного пограничного слоя образуется насыщенный раствор атмосферных газов, имеющий температуру меньшую, чем температура воды ниже пленочного пограничного слоя. Вода с поверхности, опускаясь вследствие свободной конвекции или перемещаясь вследствие волнения, попадает в слои с более высокой температурой, что должно приводить к уменьшению растворимости и концентрации растворенных атмосферных газов. Их избыток выделяется из раствора в виде воздушных микропузырьков, которые всплывают и удерживаются поверхностным давлением под пленкой поверхностного натяжения, образуя тонкий, толщиной порядка десятка микрон, микропузырьковый воздушный слой. Конвективный механизм и перемешивание при ветровом волнении должны приводить к временным и пространственным контрастам разности температур в скин-слое ИК-излучения морской поверхности и ниже термической пленки. Временные и пространственные масштабы контрастов должны соответствовать масштабам конвективных движений и ветрового волнения.

Измерения структуры поля разности температур в термической пленке в условиях ветрового волнения с высоким пространственным и временным разрешением позволят определить интервалы температурного воздействия на растворимости основных атмосферных газов и уточнить роль конвекции и ветрового волнения в формировании микропузырькового слоя. Для измерения интервалов изменения разности температур в термической пленке во времени и пространстве при конвекции и ветровом волнении необходимо создание специальных методов и приборов. Измерительная система состоит из двух элементов: плавающей платформы для оперативного измерения температуры воды по ее ИК-излучению ниже термической пленки и системы измерения флуктуаций яркостной температуры ИК-излучения морской поверхности с высоким пространственным и временным разрешением. Принцип действия измерительной плавающей платформы основан на методе «черного ящика». Используются условия квазиравновесного состояния, когда температуры воды и радиоизлучений атмосферы и моря почти одинаковы. Такую ситуацию можно создать искусственно, если накрыть приемник над морской поверхностью колпаком, покрытым изнутри отражающим ИК-излучение покрытием – «черным ящиком». В такой системе яркостная температура морской поверхности будет равна температуре воды в слое, где формируется излучение. Так как плавающая платформа разделяет атмосферу от морской поверхности и прекращает процессы массо и газообмена между морской поверхностью и атмосферой, то измеряемая температура будет равна температуре ниже термической пленки. Для одновременного измерения температурных флуктуаций в скин-слое ИК-излучения морской поверхности используется измерительная система высокого пространственного и временного разрешения, представляющая собой приемник ИК-излучения, вынесенный на близкое расстояние к морской поверхности. Одновременно, для определения коэффициента отражения морской поверхности, производится регистрация излучения неба в зените.

Проведена натурная апробация метода в прибрежной зоне Черного моря. Получены данные о временной изменчивости разности температур в термической пленке в ночное время при слабых ветрах. Проведен сравнительный анализ полученных данных с опубликованными результатами натурных измерений изменчивости инфракрасных изображений морской поверхности, полученных высокочувствительной камерой.

Radiometric method for studying the transport mechanisms of dissolved atmospheric gases through the sea surface and the formation of microbubbles layer below the surface film using field atmospheric and surface measurements of IR thermal radiation

I.T. Bubukin (bubn@nirfi.sci-nnov.ru), V.I. Bubukin
Radiophysical Research Institute, 25/12A B. Pecherskaya str., 603950 Nizhny Novgorod, Russia

The film layer of the sea surface directly borders the atmosphere. Intensive process of gas exchange between the atmosphere and the sea goes through it. In it the maximum concentration of dissolved atmospheric gases present. The Radiophysical Research Institute developed methods and tools for the study of physical processes in a thin film layer of rough sea surface, including in the infrared range. It is possible to study its structure. A significant difference between the dielectric properties of the film layer bordering on the atmosphere and laboratory measurements was obtained. The observed effect is due to the presence of a surface film of the sea surface layer (thickness of the order of tens of microns) filled with a mixture of water and air – layer microbubbles. The solubility of major atmospheric gases (oxygen and nitrogen) in the seawater is defined by the temperature of the film surface temperature. In the case of a cold boundary layer a saturated solution of atmospheric gases having a temperature lower than the water temperature of the film below the boundary layer is formed. The water from the surface, sinking due to free convection, or moving as a result of the excitement enters the layers with a higher temperature. This should lead to a decrease in the solubility and concentration of dissolved atmospheric gases. Their excess forms the air microbubbles. They float and are held under a surface pressure of the surface film. The result is a thin (thickness on the order of tens of microns) microbubble air layer. Convective mixing mechanism the influence of wind waves should result in temporal and spatial contrasts of the temperature difference in the skin layer of IR radiation of the sea surface and below the thermal film. Temporal and spatial scales of contrasts should reflect the scales of convective motions and wind waves.

Measurements of the temperature difference between the field structure in the thermal film in terms of wind waves with high spatial and temporal resolution will determine the range of temperature effects on solubility of the main atmospheric gases. They will clarify the role of convection and wind waves in the formation of microbubbles layer. To measure the temporal and spatial changes in the temperature difference intervals in the thermal film with the convection and wind waves is necessary to create special techniques and instruments. The measurement system consists of two elements: a) floating platform that measures the water temperature using the IR thermal radiation measurements below the film layer; b) the system measuring fluctuations of IR-radiation of the sea surface with high spatial and temporal resolution. The operating principle of measuring floating platform is based on the method of "black box". It is using the conditions of quasi-equilibrium state when the temperature of the water and the radio emission of the atmosphere and the sea are almost identical. This situation can be created artificially if the receiver over the sea surface is covered by a cap, reflecting the infrared radiation – a "black box." In such a system, the brightness temperature of the sea surface is equal to the temperature of water in the layer where radiation is generated. Since floating platform separates the air from the sea surface and stops processes of the mass and gas exchange between the sea surface and the atmosphere, the measured temperature is equal to a temperature below the thermal film. The measuring system of high spatial and temporal resolution is used for simultaneous measurement of temperature fluctuations in the skin layer of infrared radiation of the sea surface. It is an infrared receiver imposed on a short distance to the sea surface. At the same time, to determine the reflection coefficient of the sea surface, the registration of the zenith sky radiation is performed.

The testing of the method was made in the coastal zone of the Black Sea. The data of the temporal variability of the temperature difference in the thermal film at night under light winds were obtained. This data is compared with the published results of field measurements of variability of sea surface infrared images obtained by a highly sensitive camera.

Использование активно-пассивного зондирования для измерения параметров жидких осадков

Линкова А.М. (annlinkova@mail.ru), Хлопов Г.И.
Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, ул. Ак. Проскуры *12, 61085* Харьков, Украина

В работе предложен активно-пассивный метод измерения параметров дождя, основанный на совместном использовании двухчастотного радара и радиометра. При этом решение обратной задачи восстановления параметров жидких осадков основано на параметризации закона распределения капель дождя по размерам, что позволяет перейти от нелинейных интегральных к трансцендентным уравнениям и существенно упростить решение обратной задачи с помощью численных методов. Для численного решения обратной задачи использовалась априорная база данных моделей дождей, полученная путем решения прямой задачи активно-пассивного зондирования для разных значений параметров гамма распределения капель дождя по размерам.

Проведено численное моделирование активно-пассивного зондирования для дождей в диапазоне интенсивностей 0.25 мм/ч и для таких рабочих длин волн: 8 мм и 3.2 см для радара, и 3.4 см для радиометра. Результаты численного моделирования показали, что точность восстановления параметров дождя, а также скорость расчетов существенно зависят от шага изменения параметров гамма распределения при формировании базы данных. Также показано, что решение обратной задачи активно-пассивного зондирования дождей обладает сильной неоднозначностью (задача имеет несколько решений), что требует применения дополнительных критериев выбора единственного решения.

Для увеличения надежности восстановления параметров жидких осадков предложено уменьшить шаг изменения параметров гамма распределения при формировании базы данных принятой мощности радара и радиояркостной температуры радиометра (увеличить размер базы данных), принять меры для уменьшения количества решений обратной задачи, а также использовать различные критерии выбора единственного решения. В частности, показано, что увеличение размера базы данных приводит к значительному увеличению количества решений обратной задачи (до 600000 решений). В связи с этим в качестве дополнительной информации предложено использовать значения принятой мощности двухчастотного радара в каждом элементе разрешения по дальности для уменьшения неоднозначности решения обратной задачи. Это позволило снизить количество решений, особенно для диапазона интенсивностей менее 5 мм/ч (меньше 100 решений). Кроме этого, для выбора единственного решения были использованы критерий близости, а также критерии в виде медианы, моды и среднего значения ансамбля полученных решений.

Проведенное численное моделирование показало, что наибольшие ошибки восстановления параметров дождя соответствуют диапазону малых интенсивностей. При этом в диапазоне более 5 мм/ч все перечисленные критерии обеспечивают примерно одинаковую ошибку восстановления, которая не превышает 5 %. Такие результаты объясняются тем, что гистограммы распределения полученных решений обратной задачи в области малых интенсивностей имеют несимметричный или бимодальный характер, а с ростом интенсивности приближаются к виду нормального распределения.

1. Литвинов И. В. Структура атмосферных осадков. Л.: Гидрометеоиздат. 1974. 153 с.
2. Linkova A., G. Khlopov. Measurement of rain intensity by means of active-passive remote sensing. *European Geosciences Union General Assembly 2014*, April 27–May 02. 2014. Vienna. Austria.

Use of active-passive remote sensing for measurement of rain parameters

A.M. Linkova (annlinkova@mail.ru), G.I. Khlopov
O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of NAS of Ukraine, 12 Ak. Proskury str., 61085 Kharkov, Ukraine

Active-passive method for measurement of rain parameters based on combined use of double-frequency radar and radiometer is proposed in the paper. Solution of inverse problem of the rain parameters retrieval is based on the parametrization of drop size distribution that allows to pass from nonlinear integral to transcendental equations and essentially reduce the solution of inverse problem by numerical methods. A priori database of rain models was used for numerical solution of inverse problem, obtained by solving the direct task of active-passive sensing for different values of Gamma drop size distribution.

Numerical simulation of the active-passive sensing was performed for rains with intensity 0.25 mm/h and for such operating wavelengths: 8 mm and 3.2 cm for radar, and 3.4 cm for radiometer. Results of the numerical simulation have shown that accuracy of parameters retrieval, as well as the calculation speed, depends on the incremental step of Gamma distribution parameters during formation of database. It has been also shown that solution of inverse problem of the active-passive sensing of rains has the strong ambiguity (task has some solutions) that needs to use additional criteria for choice of unique solution.

Decrease of incremental step of Gamma distribution parameters during formation of database of received powers and brightness temperature (increase of the database size), assuming the measures for decrease of solution amount and usage of different criteria for choice of unique solution were proposed for the increase of retrieval reliability of rain parameters. Particularly, it has been shown that increase of the database size leads to the essential increase of problem solutions (up to 600000 solutions). That is why values of received powers of double frequency radar in each range resolution cell were proposed to use as additional information for decrease of problem ambiguity. This allowed to reduce the solution amount, especially for rain intensity less than 5 mm/h (less than 100 solution). In addition, such criteria as the proximity criterion, mode, median and average values of obtained solutions were used for choice of unique solution.

Performed numerical simulation has shown that the largest errors of the parameters retrieval correspond to the range of small rain intensities. At that for intensity more than 5 mm/h, all mentioned criteria provide approximately the same retrieval error, which does not exceed 5%. Such results are explained by distribution bar charts for obtained solutions of inverse problem, which have asymmetrical or bimodal character in the range of small intensities, and approximate to the normal distribution for large intensities.

1. Litvinov I.V. *Structure of atmosphere precipitation.* Leningrad: Gidrometeoizdat. 1974. 153 pp.
2. Linkova A., G. Khlopov. Measurement of rain intensity by means of active-passive remote sensing. *European Geosciences Union General Assembly 2014,* April 27– May 02. 2014. Vienna. Austria.

Мониторинг климатически важных параметров атмосферы в Петергофе (Россия, Санкт-Петербург)

Тимофеев Ю.М. (tim@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Поляков А.В., Косцов В.С., Макарова М.В., Виролайнен Я.А., Ионов Д.В., Семенов А.О., Имхасин Х.Х., Осипов С.И., Зайцев Н.А., Французова И.А., Березин И.А., Арабаджян Д.К., Фока С., Журалевичюте О.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Представлена информация о приборах для наземного мониторинга параметров атмосферы, осуществляемого на кафедре физики атмосферы СПбГУ вблизи Санкт-Петербурга (59.88 с.ш., 29.82 в.д., 20 м над уровнем моря). С помощью различных методов измерений (дистанционных и локальных) и различной современной аппаратуры (Фурье-

спектрометры, МКВ спектрометры, УФ и БИК спектрометры и фотометры, локальные датчики и т.д.) проводятся регулярные измерения профилей температуры, влажности, содержания озона и других климатически важных атмосферных газов, водности облаков, оптических и микрофизических характеристик аэрозолей и т.д. Описаны основные характеристики используемой аппаратуры, а также результаты их тестирования и калибровок.

Подробно исследованы погрешности различных измерений параметров атмосферы. Приведены примеры сравнений различных типов измерений газового состава атмосферы. Сравнения наземных измерений общего влагосодержания с помощью ИК Фурье-спектрометра Bruker IFS 125HR, МКВ радиометра RPG-HATPRO и БИК фотометра CIMEL показали преимущества ИК спектроскопических измерений.

Усовершенствованы алгоритмы интерпретации наземных МКВ измерений нисходящего теплового излучения атмосферы и повышена точность зондирования температуры в тропосфере. Проанализирована информативность наземных МКВ измерений относительно характеристик тропосферы.

На основе проведенных наземных измерений исследованы временные вариации содержания различных газов – от суточных до долговременных трендов. Показана изменчивость долговременных трендов в содержании метана. Изучены суточные вариации приземных концентраций CO_2, CO, H_2O, CH_4, O_3, NO_2 и проанализированы корреляции между вариациями приземных концентраций различных газов. Реализованы наземные ИК спектроскопические измерения элементов вертикального распределения содержания озона и исследованы временные вариации его содержания в различных слоях тропосферы и стратосферы.

Сопоставлены наземные измерения содержания озона в тропосфере с данными спутниковых измерений. Исследованы различные оптические характеристики атмосферного аэрозоля и проведены сравнения их с измерениями на близлежащих станциях АЕРОНЕТ в Эстонии и Финляндии. Осуществлены сравнения наземных измерений характеристик состава атмосферы с результатами трехмерного численного моделирования атмосферы (модели EMAC, WACCM и HYSPLIT). Проведены сравнения различных наземных измерений содержания O_3, HCl, HF, $ClONO_2$, CO_2, CH_4, NO_2 и т.д. с различными спутниковыми измерениями.

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (грант №14-17-00096). Измерения проведены на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ "Геомодель".

Monitoring of climate-influencing atmospheric parameters over Peterhof (Russia, Saint-Petersburg)

Yu.M. Timofeyev (tim@troll.phys.spbu.ru), A.V. Poberovsky, A.V. Polyakov, V.S. Kostsov, M.V. Makarova, Ya.A. Virolainen, D.V. Ionov, A.O. Semenov, Kh.Kh. Imhasin, S.I. Osipov, N.A. Zaitsev, I.A. Frantsuzova, I.A. Berezin, D.K. Arabadjan, S. Foka, O. Zhuralevichute

Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

Information on devices for the ground-based monitoring of atmospheric parameters performed at Atmospheric Physics Department SPbSU near Saint-Petersburg (59°88′ N, 29°82′ E, 20 m asl) is given. Continuous measurements of temperature and humidity profiles, amounts of the ozone and other climate-influencing atmospheric gases, cloud liquid water, aerosol optical and microphysical characteristics are carried out using various methods (remote and local) and different modern instruments (Fourier- and microwave spectrometers, UV and near-IR spectrometers and photometers, local sensors, etc.). Principal characteristics of used instruments and results of their testing and calibration are described.

Errors of different measurements of atmospheric parameters are studied in detail. Examples of comparison of different types of measurements of atmospheric gaseous composition are given. Comparisons of ground-based measurements of the atmospheric total water content by IR-Fourier

spectrometer Bruker IFS 125HR, microwave radiometer RPG-HATPRO and near-IR photometer CIMEL showed advantages of IR-spectrometric measurements.

Algorithms for interpreting the ground-based microwave measurements of downward thermal radiation of the atmosphere are improved and the accuracy of the tropospheric temperature sounding is enhanced. The informativeness of ground-based microwave measurements with respect to tropospheric characteristics is analysed.

The instruments used for remote sensing and in-situ measurements are the property of the Resource Center “Geomodel” (St.Petersburg State University). The study is supported by Russian Science Foundation (grant № 14-17-00096).

О возможностях метода дифференциальной спектроскопии по исследованию состава атмосферы по наблюдениям рассеянной солнечной радиации в облачных условиях наблюдения

Иванов В.А.[1,2] (victor.ivanov@list.ru), Боровский А.Н.[2,3], Постыляков О.В.[3]

[1]Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко БГУ, ул. Курчатова *7, 220045* Минск, Республика Беларусь

[2]Национальный НИЦ мониторинга озоносферы БГУ, ул. Курчатова *7, 220108* Минск, Республика Беларусь

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

Существующие методы восстановления содержания малых газовых примесей атмосферы по измерениям методом дифференциальной спектроскопии могут использоваться для ясных условий наблюдения. Точность разрабатываемых методов для облачных условий существенно зависит от дополнительной информации о характеристиках облачности. Наше исследование показало, что в случае расположения облачности выше пограничного слоя атмосферы погрешности восстановления содержания формальдегида по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации при известной нижней границе облачности и неизвестной ее оптической толще составляют < 9%, < 22%, и < 35% для измерений в отсутствии снега, при устойчивом снежном покрове и в отсутствии информации о нем, соответственно. Привлечение дополнительной информации об оптической толще облачности позволяет уменьшить погрешности до < 5%, < 12% и < 35%, соответственно [1].

Для улучшения точностных характеристик определения содержания газов мы также исследовали подходы к восстановлению оптических характеристик облачности тропосферы по имеющимся дифференциальным спектрам рассеянной радиации. В численных экспериментах и по натурным данным изучено влияние характеристик облачности (оптическая толща, нижняя и верхняя граница облачности) на такие измеряемые параметры, как фактор воздушной массы димера кислорода, эффективная толща Ринг-эффекта, индекс цветности и абсолютная интенсивность радиации. Получены оценки точности абсолютной калибровки – 0.33 мВт м$^{-2}$ нм$^{-1}$, содержания димера кислорода – 4.5 10^{42} мол^{2} см$^{-5}$. Вариации эффективной толщи Ринг-эффекта находятся на уровне шумов при имеющейся измерительной аппаратуре. Анализируются возможные точности определения параметров облачности при таких точностях калибровки.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ грант Х14Р-135 и РФФИ грант 14-05-90012.

1. Postylyakov O.V., A.N. Borovski. Measurements of formaldehyde total content using DOAS technique: a new retrieval method for overcast // *Proc. of SPIE*. 2014. V. 9259. 925918.1-7.

On investigation of atmospheric species in cloudy conditions using DOAS measurements of scattered solar radiation

V.A. Ivanov[1,2] (victor.ivanov@list.ru), A.N. Borovskiy[2,3], O.V. Postylyakov[3]
[1]*A.N. Sevchenko Scientific Institute of Applied Physics Problems BSU, 7 Kurchatova str., 220045 Minsk, Belarus*
[2]*National Ozone Monitoring Research and Educational Center BSU, 7 Kurchatova str., 220108 Minsk, Belarus*
[3]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*

Existing methods for the retrieval of trace gases of the atmosphere based on differential spectroscopy can be used only for clear sky. The accuracy of the technique for cloud conditions essentially depends on the additional information about the characteristics of clouds. For example, in case when we know the cloud base height, but do not know the cloud optical depth, the error of formaldehyde (HCHO) total content retrieval is about < 22% for winter season, about < 9% for summer season, and about < 35% for transition season when the ABL is below the cloud base. In case we know both the cloud base height and cloud optical depth, the error is < 12% for winter season, < 5% for summer season, and < 35% for transition season when the ABL is below the cloud base [1].

The influence of cloud characteristics (optical thickness, the lower and upper limit of the cloud) on the measured parameters such as the air mass factor dimer oxygen, effective thickness of the Ring effect, color index and the absolute intensity of radiation was studied. We obtain the accuracy of the absolute solar flux calibration as 0.33 mW m^{-2} nm^{-1}, the accuracy of slant column O4 calibration as 4.5 10^{42} mol^2 cm^{-5}. Ring effect cannot be used for cloud retrieval. The possible accuracy of retrieval of cloud parameters under such calibration is studying.

This work was supported by BRFFR found X14R-135 and RFFR found 14-05-90012.

1. Postylyakov O.V., A.N. Borovski. Measurements of formaldehyde total content using DOAS technique: a new retrieval method for overcast // *Proc. of SPIE*. 2014. V. 9259. 925918.1-7.

Измерения интегрального содержания формальдегида в тропосфере методом дифференциальной спектроскопии на Звенигородской научной станции

Боровский А.Н.[1] (alexander.n.borovski@gmail.com), Постыляков О.В.[1], Иванов В.А.[2], Kanaya Y.[3], Елохов А.С.[1], Джола А.В.[1], Гречко Е.И.[1]
[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия
*2*Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко БГУ, ул. Курчатова *7, 220045* Минск, Республика Беларусь
[3]*Department of Environmental Geochemical Cycle Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, Japan*

Формальдегид (HCHO) является короткоживущим продуктом окисления летучих органических соединений и тесно связан с их природными и антропогенными источниками. Поскольку формальдегид имеет сильные полосы поглощения в ультрафиолетовой области спектра, его содержание может быть измерено оптическими методами дистанционного зондирования, в том числе методами дифференциальной спектроскопии (DOAS).

В 2008 году на Звенигородской научной станции (ЗНС) Институтом физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН начаты спектральные измерения рассеянной солнечной радиации, приходящей из нескольких направлений по методу MAX-DOAS с использованием аппаратуры Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology. Мы разработали новый алгоритм восстановления содержания HCHO по измеряемым MAX-DOAS прибором спектрам [1]. Метод применим для наблюдений в ясных условиях. Обновленная версия алгоритма учитывает информацию об альбедо подстилающей поверхности и высоты пограничного слоя атмосферы (ПСА) в момент измерений. Для анализа изменчивости формальдегида мы отобрали измерения, проводившиеся в моменты с облачностью менее 20% с декабря 2009 по март 2013. Основные вариации содержания HCHO наблюдаются в

пределах 0–8×10^{16} мол×см$^{-2}$. Отрицательные значения содержания HCHO в некоторые зимние периоды могут быть следствием шума измерения, ошибок в определении содержания формальдегида в наклонном столбе атмосферы или неточности моделей атмосферы или альбедо, используемых при расчетах коэффициентов воздушных масс по модели MCC++[2–5].

В наших данных заметна связь содержания HCHO и температуры воздуха. Для количественной оценки этой связи мы разделили данные на группы по направлениям ветра с шагом 90° и построили линейную аппроксимацию зависимости HCHO от температуры воздуха для каждой из групп. Температурная зависимость для различных направлений ветров имеет похожие значения наклона линий (7.5–9.3×10^{14} мол×см$^{-2}$×°C^{-1}). Повышение содержания формальдегида с ростом температуры воздуха, вероятно, является следствием увеличения эмиссий главного источника формальдегида – неметановых ЛОС.

Сильное влияние на качество воздуха оказывает Московский мегаполис: повышенные содержания формальдегида при всех температурах соответствуют переносу воздушных масс из Москвы в ЗНС. Средний сдвиг содержания формальдегида в период преобладания ветров восточных направлений относительно содержания в период преобладания ветров западных направлений составляет порядка 0.85×10^{16} мол×см$^{-2}$.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №14-47-00049).

1. Borovski, A.N., Dzhola, A.V., Elokhovet al. First measurements of formaldehyde integral content at Zvenigorod Scientific Station // *Int. J. of Rem. Sens.* 2014. V. 35. № 15. P. 5609–5627.
2. Postylyakov O.V. и др. Measurements of formaldehyde total content in troposphere using DOAS technique in Moscow Region: preliminary results of 3 year observations // *Proc. SPIE*. 2014. V. 9242. 92420T.1-7.
3. Иванов В.А., Постыляков О.В. Оценка интегрального содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации // Оптика атм. океана. 2010. Т. 23. № 6. С. 471–474.
4. Постыляков О.В. Модель переноса радиации в сферической атмосфере с расчетом послойных воздушных масс и некоторые ее приложения // Изв. Физ. атм. океана. 2004. Т. 40. № 3. С. 314–329.
5. Kanaya, Y. et al. Long-term MAX-DOAS network observations of NO_2 in Russia and Asia (MADRAS) during the period 2007–2012: instrumentation, elucidation of climatology, and comparisons with OMI satellite observations and global model simulations // *Atm. Chem. Phys.* 2014. № 14. P. 7909–7927.

Measurements of formaldehyde total content in troposphere using DOAS technique in Moscow Region

A.N. Borovski[1] (alexander.n.borovski@gmail.com), O.V. Postylyakov[1], Ivanov V.A.[2], Y. Kanaya[3], A.S. Elokhov[1], A.V. Dzhola[1], E.I. Grechko[1]

[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky str., 119017 Moscow, Russia*
[2]*A.N. Sevchenko Scientific Institute of Applied Physics Problems BSU, 7 Kurchatova str., 220045 Minsk, Belarus*
[3]*Department of Environmental Geochemical Cycle Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama*

Formaldehyde (HCHO) is short-lived product of volatile organic compounds (VOCs) oxidation, and its vertical column density (VCD) in the atmosphere is closely related to natural and anthropogenic sources of VOCs. Because HCHO has strong absorption cross-section in the UV spectral region, HCHO VCD can be measured by optical methods of the remote sensing, including differential optical absorption spectroscopy (DOAS).

Spectral measurements of scattered solar radiation are performed since 2008 by Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology MAX-DOAS instrument. We developed a new algorithm for the formaldehyde retrieval [1]. The algorithm was updated by adding an availability to use information on the surface albedo and the height of the atmospheric boundary layer provided by other measurements and/or modeling. The algorithm can be used only for clouds-free conditions of the atmosphere. For the HCHO variability analysis we select data when clouds coverage was less than 20% from December 2009 to March 2013. Basic variations of HCHO VCD are 0–8×10^{16} mol×cm^{-2}. Negative values of HCHO VCD in some winter periods can be explained by a) measurement noise, b) HCHO slant column density retrieval error or c) uncertainties of albedo and atmosphere models used for air-mass factor calculations [2–5].

Strong relationship between HCHO VCD and air temperature is noticeable in our data. To estimate the temperature effect on HCHO VCD we grouped data by wind direction with 90° step and build linear approximation of the effect for each group. Gradients of the effect for all wind direction are almost the same ($7.5–9.3\times10^{14}$ mol×cm^{-2}×°C^{-1}). The increase of the formaldehyde content with the increase of the air temperature can be caused by the HCHO formation from non-methane biogenic volatile organic compounds for which more emission is expected at higher temperatures.

The obtained data allow quantifying the Moscow megapolis influence on air quality at Zvenigorod. Average shift of HCHO VCD during east wind direction domination over HCHO VCD during west wind direction domination is about 0.85×10^{16} mol×cm^{-2}.

This research was supported by the Russian Scientific Fund under grant 14-47-00049.

1. Borovski, A.N., Dzhola, A.V., Elokhovet al. First measurements of formaldehyde integral content at Zvenigorod Scientific Station // *Int. J. of Rem. Sens.* 2014. V. 35. № 15. P. 5609–5627.
2. Postylyakov O.V. и др. Measurements of formaldehyde total content in troposphere using DOAS technique in Moscow Region: preliminary results of 3 year observations // *Proc. SPIE*. 2014. V. 9242. 92420T.1-7.
3. Ivanov V.A., O.V.Postylyakov. Estimation of integral NO_2 content in atmospheric boundary layer using observations of scattered in zenith radiation // Atmos. and Ocean. Opt. 2010. V. 23. № 6. P. 471–475 (in Russian).
4. Postylyakov O.V. Spherical radiative transfer model with computation of layer air mass factors, and some of its applications // Izv. Atm. Oceanic Phys. 2004. V. 40. № 3. P. 276–290.
5. Kanaya, Y. et al. Long-term MAX-DOAS network observations of NO_2 in Russia and Asia (MADRAS) during the period 2007–2012: instrumentation, elucidation of climatology, and comparisons with OMI satellite observations and global model simulations // *Atm. Chem. Phys.* 2014. № 14. P. 7909–7927.

High altitude luminous events studied by infrared spectro-imagery from a stratospheric ballon

Laurence Croize (laurence.croize@onera.fr), Sebastien Payan, Jerome Bureau, Fabrice Duruisseau, Nathalie Huret

Office National d'Etudes et de Recherches Aerospatiales), Departement Optique Theorique et Appliquee, BP 80100 91123 Palaiseau cedex, France

Transient Luminous Events (TLEs) have been observed for the first time in 1989. Since this first observation, their effect on the atmospheric composition has become an open and important question and the lack of suitable experimental data is a shortcoming that hampers our understanding of the physics and chemistry induced by these effects.HALESIS (High-Altitude Luminous Events Studied by Infrared Spectro-imagery) is a future experiment dedicated to the measure of the atmospheric perturbation induce by at TLE in the minutes following its occurrence from a stratospheric balloon flying at an altitude of 20 km to 35 km.

In this paper, we will present the feasibility of a hyperspectral detection of a blue jet signature. We will conclude in the feasibility and in the interest of detecting the local enhancement of O_3, maybe NO_2 and, with greater difficulty NO, that could be produced by a single Blue Jet. But we will also show the interest of detecting Non Local Thermodynamic Equilibrium (NLTE) signatures induced by a Blue Jet a higher altitude both in the TIR (O_3) range and in the MIR range (CO_2, H_2O, CO, NO…). Moreover, NLTE detection will provide complementary information about the energy deposition and the vibrational chemistry caused by TLEs.

We will conclude that our study clearly demonstrates the interest of continuing to study the chemistry induced by vibrational excitation from TLEs, but also to the necessity to build a new generation of hypersectral imagers to be more adapted to HALESIS problematic.

Пять лет измерений общего содержания озона различными приборами в районе Санкт-Петербурга

Виролайнен Я.А.[1], Тимофеев Ю.М.[1], Поберовский А.В.[1], Макарова М.В.[1], Поляков А.В.[1], Шаламянский А.М.[2], Еременко М.[3], Дюфор Г.[3]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская ул. *1, 198504* Санкт-Петербург, Россия

[2]Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

[3]Университет Париж-Дидро, Университет Париж-Восток-Кретей, Французский Национальный Центр Научных Исследований, Кретей, Франция

С 2009 года в Петергофе (59.88 с.ш., 29.82 в.д.) проводятся наземные измерения спектров прямого солнечного ИК излучения высокого спектрального разрешения с помощью Фурье-спектрометра Bruker IFS-125HR. Эти измерения позволяют получать данные по общему содержанию озона (ОСО), а также информацию о содержании озона в отдельных слоях атмосферы.

Описаны особенности интерпретации данных наземных измерений, а также проведенные исследования по следующим направлениям: а) анализ погрешностей измерений, обусловленных различными факторами; б) сопоставление измерений Фурье-спектрометра с данными измерений приборами Добсона и М-124 (Воейково); в) сопоставление наземных измерений ОСО с данными спутниковых измерений приборами OMI и IASI; г) сопоставление измерений ОСО с результатами численного моделирования; д) сравнения наземных измерений элементов вертикального распределения озона со спутниковыми измерениями приборами IASI и MLS, а также с модельными расчетами; е) изучение временных вариация ОСО, тропосферного и стратосферного озона, в том числе дневных вариаций и долговременных изменений.

Измерения осуществлялись на научном оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Геомодель» и при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00096).

Five years of multi-instrumental ozone measurements near Saint-Petersburg

Yana Virolainen[1], Yury Timofeyev[1], Anatoly Poberovskii[1], Maria Makarova[1], Alexander Polyakov[1], Arkady Shalamyanskii[2], Maxim Eremenko[3], Gaelle Dufour[3]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Dept., 1 Ulianovskaya st., 198510 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia*

[3]*CNRS UMR 7583, Universite Paris Est Creteil, Universite Paris Diderot Faculte des Sciences et Technologie), Creteil, France*

Since the beginning of 2009, Peterhof station ground-based observing system has been recording solar IR spectra with high resolution using Bruker IFS 125 HR Fourier Transform Infra-Red (FTIR) instrument. These measurements allow the retrieving of the total ozone columns (TOC) as well as the partial columns in thick atmospheric layers.

Firstly, we describe the main features of the ozone retrieval procedure. Secondly, we discuss the following research results: a) the analysis of the error budget depending on various error sources; b) the comparison of FTIR TOC measurements in Peterhof with ground-based measurements in Voeikovo (Dobson photometer and M-124 spectrometer); c) the comparison of ground-based TOC measurements with satellite data (OMI and IASI devices); d) the comparison of TOC measurements with the results of modelling; e) the comparison of the vertical ozone structure obtained by ground-based FTIR measurements and IASI and MLS satellite measurements; f) the analysis of the temporal variation of ozone total and partial columns, from daily to inter annual changes.

Investigations were supported by Russian Science Foundation (grant № 14-17-00096). Authors thank Geomodel Research Center (SPbU) for providing the observational facilities.

Исследование загрязнения атмосферы мегаполисов Москвы и Пекина окисью углерода

Ракитин В.С.[1] (vadim@ifaran.ru), Гречко Е.И.[1], Ван Генчен[2], Фокеева Е.В.[1], Ванг Пусай[2], Джола А.В.[1], Сафронов А.Н.[1]

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

[2]Институт физики атмосферы АН Китая, *100029* Пекин, Округ Чао Янг, п/я *9804*, Китай

Представлены результаты измерений содержания окиси углерода (CO) в толще атмосферы в 1992–2013 гг. в городах Пекин и Москва. Содержание CO определялось по спектрам поглощения солнечного излучения в области 4.6 мкм с помощью идентичных дифракционных спектрометров среднего разрешения (0.2 см$^{-1}$). Антропогенная часть содержания для Москвы (ΔU) определялась как разность измеренных в центре города и на Звенигородской научной станции (ЗНС). Для Пекина в качестве фоновой величины содержания использовалось минимальное значение из измеренных в соответствующий период наблюдений.

Обсуждаются особенности долговременных вариаций ΔU CO в этих мегаполисах. Уровень загрязнения окисью углерода в Пекине существенно выше по сравнению с Москвой. Повторяемость экстремальных значений загрязнения атмосферы в Пекине в несколько раз выше, чем в Москве. Зависимость ΔU CO от направления ветра для Москвы практически отсутствует. Для Пекина, в отличие от Москвы, влияние направления ветра является определяющим, где минимальные значения ΔU CO соответствуют переносу воздушных масс с Северо-Запада из Сибири и Монголии, а максимальные – переносу из южных и юго-западных районов Китая. Для Москвы в период 2006–2012 гг. отмечается увеличение повторяемости низких значений ΔU при уменьшении повторяемости средних и высоких значений. Следует отметить, что в период 2008–2014 гг. экстремальные значения содержания городской части CO в Москве не наблюдались ни разу, за исключением периода природных пожаров летом 2010 г. Нижней границей экстремальных ситуаций считалось значение городской добавки $\Delta U = 0.110$ атм см, внутри которой содержится 95% всех измеренных в Москве в 1992–2014 гг. содержаний. Антропогенная доля окиси углерода в толще атмосферы Пекина в целом за весь период 1992–2012 гг. значительных изменений не претерпела, хотя и заметно возрастала в отдельные годы. Городская часть содержания окиси углерода Пекина в среднем по периоду 1996–2003 гг. была в 1.4 раза выше, чем по периоду 2006–2013 гг. В Москве в период 2003–2013 гг. наблюдается заметное снижение ΔU CO, несмотря на продолжающийся рост количества автомобилей в городе. Данные ГУП «Мосэкомониторинг» подтверждают снижение концентрации CO, возможно связанное с улучшением качества автомобильных двигателей и топлива. Высокие уровни загрязнения атмосферы окисью углерода, сравнимые с регулярно наблюдающимися в Пекине, зарегистрированы в Москве только в период природных пожаров 2010 года. По результатам проведенного траекторного кластерного анализа и согласно сведениям базы данных об антропогенных эмиссиях EDGARv4.2 основные источники загрязнения атмосферы Пекина CO расположены к югу от Пекина и занимают обширную территорию,.

Сопоставление среднедневных спутниковых (AIRS v6, MOPITT v5, v6 Joint) и наземных спектроскопических данных общего содержания CO в загрязненных условиях над Пекином (в холодный период, т.е. октябрь–апрель 2010–2013 гг.) показало систематическое занижение спутниковым продуктом AIRS v6 содержаний CO (в 1.7 раза), и невысокую корреляцию ($R_2 \leq 0.4$) всех упомянутых спутниковых продуктов с наземными спектроскопическими данными.

Studying the atmospheric pollution of Moscow and Beijing metropolises by carbon monoxide

V.S. Rakitin[1] (vadim@ifaran.ru), E.I. Grechko[1], Gengchen Wang[2], E.V. Fokeeva[1], Pucai Wang[2], A.V. Dzhola[1], A.N. Safronov[1]

[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevskii per., 119017 Moscow, Russia*

[2]*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, P.O. Box 9804, Chao Yang district*

The results of measurements of carbon monoxide (CO) in the thickness of the atmosphere in the cities of Beijing and Moscow in 1992–2013. The CO total content (CO TC) was determined from the absorption spectra of solar radiation in the region 4.7 m using identical diffraction spectrometers of medium resolution (0.2 cm^{-1}). Anthropogenic portion of the CO content for Moscow (ΔU) was determined as the difference of measured CO TC in the city center and at the Zvenigorod Scientific Station (ZSS). The minimum CO content measured in Beijing during the corresponding period of observation was used as a background value.

The features of CO long-term variations (ΔU CO) in these cities are discussed. The level of carbon monoxide pollution in Beijing is much higher compared to Moscow ones. Frequency recurrence of extreme values of air pollution in Beijing is several times higher than in Moscow. ΔU CO dependence on wind direction for Moscow is virtually nonexistent. For Beijing, unlike Moscow, the influence of the wind direction is determining. The minimum values of ΔU CO correspond to the transportation of air masses from the North-West of Siberia and Mongolia, and the maximum due to the pollutions transfer from the southern and south-western regions of China. For Moscow during the 2006–2012 years, the increase in the frequency of occurrence of the low values of ΔU, with a decrease in the frequency of occurrence of medium and high values were marked. It should be noted that in 2008–2014, extreme values of the CO content were not observed in Moscow, except for the period of wildfires in summer 2010. Value of $\Delta U = 0.110$ atm cm, in which 95% of all values measured in Moscow in 1992–2014 contain, was considered as the lower bound of extreme situations. The anthropogenic carbon monoxide in the atmosphere in Beijing for the 1992–2012 entire period had no significant changes, although markedly increased in some years. Urban portion of carbon monoxide content in Beijing on average over the period of 1996–2003 was 1.4 times higher than that in the period 2006–2013 years. In Moscow in the period 2003–2013, a noticeable reduction ΔU CO was observed despite the continuing increase in the number of cars in the city. The GUP "Mosekomonitoring" data confirm the decrease in the CO concentration, possibly associated with improved quality of motor vehicles and fuel. High levels of carbon monoxide air pollution comparable to regularly observed in Beijing, were registered in Moscow only during wildfires in 2010. The main sources of air pollution in Beijing CO are located toward south of Beijing and occupy a vast area as it was resulted by the trajectory cluster analysis and was confirmed according to the information from database of anthropogenic emissions EDGARv4.2.

A comparison of the satellite (AIRS v6, MOPITT v5, v6 Joint) and ground-based spectroscopic data of CO total content in polluted conditions over Beijing (in the cold period, i.e. October–April 2010–2013) has demonstrated a systematic underestimation of satellite products AIRS v6 of CO TC (1.7 times), and low correlation ($R_2 \leq 0.4$) of all these CO satellite products with ground-based spectroscopic data.

Проблемы распознавания объектов лесного покрова по данным дистанционного оптического зондирования

Козодеров В.В.[1] (vkozod@mail.ru), Кондранин Т.В.[2], Дмитриев Е.В.[3], Каменцев В.П.[4]
[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы, *119991* Москва, Россия
[2]Московский физико-технический институт, Институтский пер. *9, 141700* Долгопрудный, Моск. обл., Россия
[3]Институт вычислительной математики РАН, Губкина *8, 119991* Москва, Россия
[4]Тверской государственный университет, ул. Желябова *33, 170100* Тверь, Россия

Проблема распознавания образов исследуется в контексте обработки изображений дистанционного зондирования на основе текстурных и спектральных признаков для объектов поверхности суши. Основное внимание уделяется распознаванию объектов лесного покрова разного породного состава и возраста с помощью машинно-обучающих алгоритмов и высокопроизводительных компьютеров. Мы находим максимум апостериорной вероятности выбранных классов объектов для усовершенствованного байесовского классификатора с использованием формализма Марковских случайных полей при описании соседства пикселей, относящихся к соответствующим классам объектов лесного покрова. Усовершенствования касаются достижения устойчивых решений при распознавании многих классов объектов на основе пошаговой оптимизации, кросс-валидации и методов нахождения выборочных данных. Категория энергии для выделенных классов служит обоснованием меры правдоподобия регистрируемых данных дистанционного зондирования и теоретических функций распределения, аппроксимирующих эти данные. Реализуются процедуры оптимизации для описания текстуры выделенных классов лесного покрова при распознавании таких объектов вместе с нахождением тонких нюансов их спектрального распределения в признаковом пространстве. В результате устраняется возможная избыточность каналов гиперспектрального зондирования вследствие их корреляции. Показаны трудности, обусловленные различием выборочных данных при разделении пикселей, которые характеризуют освещенные верхушки деревьев, затененное фоновое пространство и промежуточные условия освещения Солнцем рассматриваемых объектов на гиперспектральных изображениях. Установлено, что разделение этих пикселей для разных классов лесной растительности повышает точность распознавания, но требует согласования ансамблей данных для всех таких пикселей.

Исследования проводятся при финансовой поддержке ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы" (Соглашение №14.575.21.0028 о предоставлении субсидии, уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57514X0028) и грантов Российского Фонда Фундаментальных Исследований (гранты 13-01-00185, 14-05-00598, 14-07-00141, 15-01-00783).

Problems of forest canopy pattern recognition using remote sensing optical data

V.V. Kozoderov[1] (vkozod@mail.ru), T.V. Kondranin[2], E.V. Dmitriev[3], V.P. Kamentsev[4]
[1]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Physics Faculty, Vorobyevi Gory, 119992 Moscow, Russia*
[2]*Moscow Institute of Physics and Technology (State University), 9 Institutskiy per., 141700 Dolgoprudny, Moscow Region, Russia*
[3]*Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin str., 119333 Moscow, Russia*
[4]*Tver State University, 33 Zhelyabova str., 170100 Tver, Russia*

Pattern recognition problem is outlined in the context of remote sensing imagery processing using textural and spectral features of the land surface objects. Main attention is paid to recognition of forests of different species and ages based on machine-learning algorithms and high-productive computers. We consider the maximum of the posterior probability principle in the Bayesian classifier improvements and the formalism of Markov random fields for the neighborhood

description of the pixels for the related classes of the forest objects. The improvements concern reaching stable solutions in the multi-class recognition based on a step-wise optimization approach, holdout cross-validation and resampling techniques. The energy category of the selected classes serves to account for the likelihood measure between the registered radiances and the theoretical distribution functions approximating remotely sensed data. Optimization procedures are undertaken to solve the pattern recognition problem of the texture description for the forest classes together with finding thin nuances of their spectral distribution in the feature space. As a result, possible redundancy of the channels for imaging spectrometer due to their correlations is removed. Difficulties are revealed due to different sampling data while separating pixels, which characterize the sunlit tops, shaded space and intermediate cases of the Sun illumination conditions on the hyper-spectral images. Such separation of pixels for the forest classes is maintained to enhance the recognition accuracy, but learning ensembles of data need to be agreed for these categories of pixels.

These results are obtained under funding support from the Federal Target Program “Research and Developments of Priority Directions in Science and Technology Complex of Russia on 2014–2020” (Grant Agreement No.14.575.21.0028, its unique identification number RFMEFI57514X0028) as well as from the Russian Fund for Basic Research (No.13-01-00185, 14-05-00598, 14-07-00141, 15-01-00783).

Восстановление функции распределения аэрозольных частиц по размерам по данным зондирования многочастотным лидаром

Самойлова С.В. (ssv@seversk.tomsknet.ru), Балин Ю.С., Коханенко Г.П., Пеннер И.Э.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, *634021* Томск, Россия

Восстановление функции распределения (ФР) аэрозольных частиц по размерам является одной из принципиальных задач при исследовании атмосферного аэрозоля оптическими методами. Разработка практических методов ее оценивания по данным лидарных наблюдений началась в 1999 году [1] с введением КР-каналов зондирования в цикл рутинных измерений, что позволяет независимо определять коэффициенты ослабления (для длин волн 355 и 532 нм) и обратного рассеяния (355, 532 и 1064 нм). Основная проблема восстановления ФР – ограниченность доступной информации: по пяти измерениям оптических коэффициентов необходимо реконструировать функцию, имеющую несколько локальных экстремумов. Удовлетворительные оценки параметров бимодальной ФР могут быть получены, если использовать стандартные процедуры решения некорректных обратных задач: (1) разложение искомой ФР по известной системе базисных функций с неизвестными весовыми коэффициентами и (2) введение априорных ограничений на решение. После разложения задача сводится к решению линейного матричного уравнения относительно вектора весовых коэффициентов. Матричные элементы зависят от показателя преломления (проблемы и возможности определения его составляющих по лидарным данным представлены в [2]); ограничения на гладкость обеспечивают устойчивость получаемого решения к погрешностям восстановления оптических коэффициентов. Использование ограничений на гладкость позволяет корректно оценивать ФР в диапазоне от 0.1 до 3 мкм. Для расширения диапазона целесообразно введение в алгоритмы интерпретации дополнительной априорной информации о послойной вертикальной однородности тропосферы относительно микрофизических характеристик аэрозоля. В этом случае возникают возможности (1) перехода к «ансамблю» измерений, (2) оценивания первых моментов распределений погрешностей и искомой ФР непосредственно по измерениям оптических коэффициентов в пределах текущего сеанса наблюдений, и (3) применения методов статистической регуляризации.

В докладе будет представлен сравнительный анализ определения параметров ФР различными методами по данным численного моделирования, а также приведены результаты

восстановления ФР по лидарным измерениям пограничного слоя и средней тропосферы многочастотным лидаром "ЛОЗА-С" в Томске.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты №13-05-00096а и №13-08-98013а.

1. Müller D., U. Wandinger, A. Ansmann. Microphysical particle parameters from extinction and backscatter lidar data by inversion with regularization: Theory // *Appl. Opt.* 1999. V. 38. № 12. P. 2346–2357.
2. Samoilova S.V. Retrieval of complex refractive index from lidar measurements: possibilities and limitations // *Atm. and Oceanic Optics*. 2014. V. 27. № 3. P. 197–206.

Retrieval of the aerosol particle size distribution from the data of multi-wavelength lidar sounding

S.V. Samoilova (ssv@seversk.tomsknet.ru), Yu.S. Balin, G.P. Kokhanenko, I.E. Penner
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia

Retrieval of the aerosol particle size distribution (PSD) is one of the principal problems in the study of atmospheric aerosol by optical methods. Development of the practical techniques for its estimation using the lidar observations data was started in 1999 [1] with implementation the Raman sounding channels into the practice of routine observations. It makes possible independent measurements of the extinction (at wavelengths of 355 and 532 nm) and the backscatter coefficients (355, 532 and 1064 nm). The main problem in the inversion of the lidar data to determine PSD consists in the insufficient information content: it is necessary to recover the function with several local extremes from five measurements of the optical coefficients. Satisfactory estimates of the bimodal PSD parameters can be obtained using the known techniques for solving the ill-posed inverse problems: 1) the expansion of PSD in terms of a linear combination of the known basic functions with unknown weight coefficients and 2) using a priori constraints on the solution. After expansion, the problem is reduced to solving the linear matrix equation with respect to the weight coefficients vector. The matrix elements depend on the refractive index (the limitations and possibilities of its parts retrieval from the lidar data are described in [2]). The smoothing constraints allow well-posed PSD recovering at the size range from 0.1 to 3 m. To expand this range, it is expedient to introduce a priori information about the layered vertical inhomogeneity of the troposphere relatively to the aerosol microphysical characteristics into the algorithms. In this case, the following possibilities arise: (1) the transition to an ensemble of measurements, (2) the evaluation of the statistical moments of distribution of additive noise component and the sought-after PSD directly from the optical coefficients data, within the current observation session, and (3) the application of the statistical regularization methods.

Comparative analysis of the PSD parameters retrieval by different methods from the data of numerical simulations will be presented, as well as the results of the PSD determination from lidar measurements at the planetary boundary layer and the middle troposphere by multi-wavelength lidar “LOSA-S” in Tomsk.

The work was supported in part by Russian Foundation for Basic Research under grants No 13-05-00096a and No 13-08-98013a.

1. Müller D., U. Wandinger, A. Ansmann. Microphysical particle parameters from extinction and backscatter lidar data by inversion with regularization: Theory // *Appl. Opt.* 1999. V. 38. № 12. P. 2346–2357.
2. Samoilova S.V. Retrieval of complex refractive index from lidar measurements: possibilities and limitations // *Atm. and Oceanic Optics*. 2014. V. 27. № 3. P. 197–206.

Оценки интегральной эмиссии NO_x мегаполисом Санкт-Петербурга по данным мобильных измерений тропосферного содержания NO_2 на замкнутой кольцевой трассе

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская ул. *1, 198504* Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты мобильных спектроскопических измерений тропосферного содержания NO_2, выполненных с борта легкового автомобиля на замкнутой трассе КАД вокруг Санкт-Петербурга в течение нескольких дней в 2012, 2014 и 2015 годах [1]. Использовался компактный автоматический спектрометр высокого разрешения OceanOptics HR4000, позволяющий проводить спектральные измерения в интервале 398–607 нм с разрешением ~ 0.6 нм. Для осуществления мобильных измерений входная часть оптического световода спектрометра была вертикально зафиксирована на крыше легкового автомобиля, обеспечивая непрерывную зенитную регистрацию рассеянного солнечного излучения. Местоположение автомобиля определялось с помощью GPS-датчика для привязки результатов измерений к маршруту движения на карте. Время экспозиции для регистрации единичного спектра устанавливалось программой измерений спектрометра в зависимости от условий освещенности, и составляло в среднем ~ 60 мс (наблюдения выполнялись в дневное время, около полудня – при высоком солнце). Запись спектров осуществлялась с интервалом 30 секунд; единичные спектры, зарегистрированные за это время, суммировались. Продолжительность циклического маршрута движения протяженностью ~ 140 км составляла ~ 1.5 часа.

Наблюдаемые пространственные распределения измеренных содержаний NO_2 по трассе КАД хорошо согласуются с результатами расчетов рассеяния городских загрязнений (модель HYSPLIT). С учетом преимущественного направления ветра в период измерений получены оценки интегральной эмиссии NO_x от городских источников, находящихся внутри кольцевой трассы. Проанализированы основные источники ошибок используемого метода, включая: погрешность спектроскопических измерений, вариации высоты солнца (вертикальной чувствительности), многократное рассеяние в атмосфере, неопределенности направления и скорости ветра, соотношения NO и NO_2 в NO_x и времени жизни NO_x в приземном воздухе. Экспериментальные оценки годовой эмиссии NO_x сравниваются с данными официальной городской инвентаризации источников загрязнений. Рассмотрены возможные причины наблюдаемых расхождений, а также перспективы совершенствования предлагаемого метода измерений.

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ "Геомодель", при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-00897 – проведение и анализ результатов мобильных измерений NO_2) и Российского научного фонда (проект № 14-17-00096 – численное моделирование рассеяния городских загрязнений).

1. Ionov D., A. Poberovskii. Quantification of NOx emission from St.Petersburg (Russia) using mobile DOAS measurements around entire city // *Int. J. Rem. Sens.* 2015 (accepted for publication).

Quantification of NOx total emission from megacity of St. Petersburg using mobile measurements of tropospheric NO_2 along the closed ring route

D.V. Ionov (ionov@troll.phys.spbu.ru), A.V. Poberovsky
Saint-Petersburg State University, Faculty of Physics, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

The results of mobile spectroscopic measurements of tropospheric NO_2 content onboard a car, on a closed ring road round St. Petersburg during number of days in 2012, 2014 and 2015 are presented [1]. The observations were carried out with the use of the compact automatic high-resolution spectrometer OceanOptics HR4000 in the wavelength range 398–607 nm with the

spectral resolution of ~ 0.6 nm. To perform mobile measurements, the optical fiber is installed on the car roof, making possible continuous registration of zenith-sky scattered sunlight. Location of the car is determined with the help of GPS-sensor, to attribute the measurement results to the map of the route. Exposure time of individual spectra measurement is set by the processing software, depending on illumination conditions and being ~ 60 ms on the average (daytime observations close to local noon – at high sun). The measurements are recorded each 30 seconds, with individual spectra averaged within that period. The duration of circular route with a distance of ~ 140 km was ~1.5 hour.

Observed spatial distributions of NO_2 over the car route display reasonable agreement with results of simulated urban pollution dispersion (HYSPLIT model). Based on a predominant wind direction during observations, total NO_x emission (flux) from all the sources encircled with a ring road is estimated. The main sources of an applied method of emission estimate are analyzed, including: the inaccuracy of spectroscopic measurements, variations of solar height (vertical sensitivity), atmospheric multiple scattering, uncertainties of wind speed and direction, partitioning between NO and NO_2 in NO_x, and NO_x lifetime in the surface air. Our experimental estimates are compared to the data of official municipal inventory of St.Petersburg emission sources. The possible reasons of the observed discrepancy and an outlook for further improvements of our method are considered and discussed.

The study was carried out using equipment of the Center for Geo-Environmental Research and Modeling (GEOMODEL) of the Research park of St. Petersburg State University, and supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 14-05-00897 – mobile measurements of NO_2 and data analysis) and Russian Science Foundation (project 14-17-00096 – the numerical simulation of urban pollution dispersion).

1. Ionov D., A. Poberovskii. Quantification of NO_x emission from St. Petersburg (Russia) using mobile DOAS measurements around entire city // Int. J. Rem. Sens. 2015 (accepted for publication).

Математическое моделирование обратной задачи рассеяния, реализованной в комбинированном методе ореолов

Бородин С.А. (sborodin@rpatyphoon.ru), Дрофа А.С., Яскевич Г.Ф.
НПО «Тайфун», ул. Победы *4*, Россия, *249038* Обнинск, Калужская область, Россия

Облака и аэрозоли атмосферы, в целом, остаются важнейшими климатообразующими факторами на Земле. В этой связи мониторинг микрофизических и оптических характеристик атмосферных аэрозолей является актуальной задачей физики атмосферы. Однако к настоящему времени вопросы получения (в особенности с помощью дистанционных методов измерений) достоверных метрологически обоснованных данных о концентрации, размерах и фазовом состоянии облачных частиц, например, остаются открытыми. Тем не менее, авторами настоящей работы показано, что интеграция и развитие результатов исследований в смежных направлениях оптики атмосферы, геометрической оптики и оптико-электронного приборостроения позволяет создать технологию, в полной мере отвечающую требованиям задач мониторинга параметров аэрозольных образований в атмосфере. Нами был разработан комбинированный метод ореолов (КМО), базирующейся на формировании, регистрации и анализе геометрических, денситометрических и спектральных параметров изображений Солнца и солнечных ореолов. Математическая модель КМО построена с использованием теории переноса изображений, теории линейных систем, геометрической оптики и метода малых углов.

В представленной работе приведены результаты исследований информационно-аналитических и точностных характеристик метода, а также границ его применимости путем численного рандомизированного эксперимента. Рассмотрены результаты последовательного решения прямой и обратной задач теории рассеяния и теории линейных систем. При решении прямой задачи случайным образом задаются параметры модифицированного гамма-распределения частиц по размерам: модальный радиус и ширина распределения.

Затем рассчитывается индикатриса рассеяния заданного распределения, по которой вычисляется распределение интенсивности в изображении модельного источника, сформированного излучением, прошедшим через рассеивающую среду со случайной оптической толщиной. Полученное изображение является исходным для обратной задачи, решаемой комбинированным методом ореолов. На последнем этапе вычисляются относительные погрешности характеристик распределения: среднеарифметического радиуса, среднеквадратического радиуса, среднекубического радиуса, модального радиуса и относительной ширины кривой распределения.

Проведён анализ результатов более 10000 вычислений по схеме: распределение-ореол рассеяния-распределение. Значения степенного показателя и модального радиуса распределения варьировались в диапазонах (0.2; 29.7) и (2; 25), соответственно. Успешное восстановление распределения частиц по размерам зафиксировано в 98.3% случаев, что свидетельствует о работоспособности предложенного метода. Ошибка восстановления модального радиуса составила менее 30% в 68.9% случаев. Причём все рассчитанные значения модального радиуса оказались меньше исходных значений, что допускает дополнительную корректировку результатов и снижение реальной погрешности метода. Погрешность восстановления среднеарифметического радиуса составила менее 30% в 65.9% случаев. Полученные данные свидетельствуют о приемлемых (для дистанционного метода измерений микроструктуры аэрозолей) точностных характеристиках. При оценке границ применимости КМО следует выделить область, для которой характерны более высокие значения погрешности измерений (более 50%). Это область широких распределений частиц по размерам со степенным показателем менее 6. Имеют место одиночные выбросы высоких значений погрешности. Для всех же остальных случаев погрешность восстановления не превышает 30%. Выполненное в работе математическое моделирование разработанного комбинированного метода ореолов подтверждает его работоспособность с удовлетворительным уровнем точностных и информационных характеристик. Использование метода в программном обеспечении приборов дистанционного исследования облачных образований обладает большим потенциалом.

Mathematical modeling of backscattering inverse problem realized in combined aureole method

S.A. Borodin (sborodin@rpatyphoon.ru), A.S. Drofa, G.F. Yaskevich
Research and Production Association “Typhoon”, 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia

Clouds and atmospheric aerosols are, on the whole, major climate forming factors on the Earth. In this connection, the monitoring of microphysical and optical characteristics of atmospheric aerosols is an urgent problem of atmospheric physics. But up to present, the problems of retrieving (especially by remote sensing measurements) the reliable metrologically based data on, for example, the cloud drop concentration, sizes and phase state remain unsolved. Nevertheless, authors of the present paper have shown that integration and development of investigation results in adjacent directions of atmospheric optics, geometrical optics and optical-mechanical instrument making make it possible to create a technology completely meeting the requirements of monitoring the parameters of aerosol formations in the atmosphere. We developed a combined aureole method (CAM) based on the formation, registration and analysis of geometric, densitometric and spectral parameters of the Sun images and solar aureoles. The mathematical CAM model is constructed with the use of the theory of images transfer, theory of linear systems, geometrical optics and method of small angles.

In the paper, results of studying (by a numerical randomized experiment) the information-analytic and accuracy characteristics of the method and also its applicability limits are presented. Results of the successive solution of direct and inverse problems of scattering theory and the theory of linear systems are considered. When solving the direct problem, parameters of a modified particle size gamma-distribution (the modal radius and distribution width) are preset. Then the

phase scattering function of the preset distribution is calculated, which is used for calculating the intensity distribution in the image of a model source formed by radiation that passed through the scattering medium with a random optical thickness. The image obtained is the initial one for the inverse problem solved by the combined aureole method. At the last stage, relative errors of distribution characteristics are calculated: the mean arithmetic radius, mean square radius, mean cubic radius, modal radius and relative width of distribution curve.

The analysis of results of more than 10,000 calculations was made according to the scheme: distribution-scattering aureole-distribution. The exponents and modal radius distributions varied within the range of (0.2; 29.7) and (2; 25), correspondingly. Successful reconstruction of particle size distribution is fixed in 98.3% of the cases that is the indication of the efficiency of the method proposed. The error in reconstructing the modal radius was less than 30% in 68.9% cases; the calculated values of modal radius were less than their initial values. This gives a possibility to make an additional correction of results and decrease the real error of the method. The error of mean arithmetic radius reconstruction made less than 30% in 65.9% of the cases. The obtained data testify to acceptable accuracy characteristics for remote measuring the aerosol structure. When estimating the CAM applicability limits, one should choose a region with more high measurement errors (over 50%). This is the region of the wide particle size distribution with the exponent less than 6. Single peaks of high error values may appear. For all the other reconstruction cases, the error does not exceed 30%. Mathematical modeling of the combined aureole method developed confirms its efficiency at a reasonable level of accuracy and informative characteristics. The application of the method in the software of the devices aimed at the remote sensing of cloud formations is very promising.

Определение нижней границы облачности по цифровой стереосъемке с поверхности Земли

Чуличков А.И.[1,2] (achulichkov@gmail.com), Андреев М.С.[1], Медведев А.П.[2], Постыляков О.В.[2]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы горы *1, 119991* Москва, Россия

[2]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. д. *3, 119017* Москва, Россия

В работе предлагается метод определения высоты облаков по набору их изображений, полученных при одновременном фотографировании с помощью двух фотокамер с оптическими осями, направленными в зенит. Фотосъемка проводилась в ИФА РАН. Если известны направления оптических осей фотокамер и осей координат в плоскости изображений, то, зная координаты изображения точки облака, в приближении геометрической оптики можно рассчитать расстояние до этой точки. Наиболее простой способ расчета получается тогда, когда соответствующие оси параллельны. В этом случае для расчета необходимо знать разность координат изображения точки на первом и втором изображениях. Однако установить фотокамеры так, чтобы их оптические оси имели известное с требуемой точностью направление, оказывается технически невозможно. Поэтому был разработан метод определения (калибровки) направлений оптических осей фотокамер путем фотографирования бесконечно удаленных объектов, в качестве которых использовались звезды. По набору пар изображений звезд на ночном небе определялись коэффициенты аффинного преобразования, связывающего собственные системы координат фотокамер, и, далее, изображение второй камеры преобразовывалось к виду, которое оно имело бы при совпадении направлений её осей с направлениями осей первой камеры. Авторы ограничились аффинными преобразованиями, так как угол рассогласования оптических осей был достаточно малым, и соответствующие точки на стереопаре выбирались вблизи оптической оси. Для оценки коэффициентов аффинных преобразований и оценки адекватности модели аффинных преобразований использовались методы теории

измерительно-вычислительных систем [1]. Вместо разности координат изображения фиксированной точки облака на двух снимках в работе использовалась разность координат положения целого фрагмента изображения облака: на одном изображении выбирался некоторый фрагмент, а на втором отыскивался участок поля зрения, изображение на котором наиболее схоже с изображением первого фрагмента. Для решения этой задачи использовались морфологические методы анализа изображений [2], позволяющие находить на заданном поле зрения фрагмент заданной формы и оценивать его координаты. Далее оценивался относительный сдвиг фрагмента облака на двух снимках, рассчитывалось расстояние до облака (высота нижней границы облачного покрова), и оценивалась его погрешность.

В докладе описываются математическая модель регистрации, ставится и решается задача калибровки направлений оптических осей фотокамер, т.е. оцениваются параметры аффинных преобразований, связывающих координаты соответствующих точек одного и того же объекта на разных изображениях стереопары, описываются методы совмещения фрагментов изображений морфологическим методом, ставится и решается задача оценивания высоты облаков, приведены примеры оценок по реальным фотографиям. Результаты оценивания сравниваются с данными, полученными с помощью лазерного дальномера.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты № 14-07-00409-а и 14-05-90012.

1. Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Методы морфологического анализа изображений. М.: Физматлит. 2010. 336 с.
2. Пытьев Ю.П. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем. М.: Физматлит. 2012. 428 с.

Estimation of cloud base height using ground-based digital stereo photography

A.I. Chulichkov[1,2] (achulichkov@gmail.com), M.S. Andreev[1], A.P. Medvedev[2], O.V. Postylyakov[2]

[1]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Physics Faculty, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia*
[2]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhyovskiy per., 119017 Moscow, Russia*

For the reconstruction of the parameters of clouds a method was developed based on taking pictures of the sky by a pair of digital photocameras and subsequent processing of the obtained sequence of stereo frames by a method of the morphological analysis of images. Since the directions of the optical axes of the cameras are not exactly known, the calibration of the sight direction of the cameras was conducted at the first stage using the photographs of stars in the night sky. As a result, the coefficients of the affine transformation relating coordinate systems of the cameras were determined. Using the methods of the theory of measuring-computer systems [1], we test the possibility of describing the mismatch of the star sky image by an affine transformation and estimate the parameters of this transformation, which give the location of pixel to which the zenith is projected. These parameters are then used to transform the image of the right camera to a form peculiar to the image of a camera with the same location, but with optical axis coinciding with direction of the left camera. At the second stage, the relative shift of the image of the cloud fragment on the second frame of the pair was calculated. Stereo pairs obtained by simultaneous photography, allowed us to estimate the height of cloud. Instead of determining the shift of some selected point of cloud, the value of the shift of a fragment of the image is determined. To solve the problem, we identify a fragment of cloud on the first image and find the fragment as similar as possible with the dedicated at the second image. As the images of the same object, formed by different cameras may differ in brightness and color, to find similar image fragments we applied the methods of morphological image analysis [2].

The report describes a mathematical model of measurements, poses and solves the problem of calibration of direction of sight of the cameras, describes methods of combining the image fragments by morphological method. The problem of estimating the cloud height and speed of their

movement is formulated and solved. The examples of such evaluations from real photos are analyzed and validated by the way of comparing with the results of measurement by laser rangefinder.

The investigation was supported by Russian Foundation for Basic Research by grants 14-07-00409 and 14-05-90012.

1. Pyt'ev Yu.P. *Methods of mathematical modeling of measuring-computer systems.* Moscow: Fismatlit. 2012. 336 p. (in Russian).
2. Pyt'ev, Yu.P., Chulichkov, A.I. *Methods of morphological image analysis*. Moscow: Fismatlit. 2010. 428 p. (in Russian).

Диагностика приповерхностного поля ветра по оптическим изображениям взволнованной водной поверхности

Титов В.И. (titov@hydro.appl.sci-nnov.ru), Баханов В.В., Лучинин А.Г., Репина И.А.
Научно-исследовательский радиофизический институт, Большая Печерская *25/12*а, *603950* Нижний Новгород, Россия

В работе обсуждаются принципы диагностики приповерхностного ветра по оптическим изображениям поверхности моря в различных участках спектра от УФ до ближнего ИК. Анализируются механизмы видимости волн, обусловленные угловой анизотропией яркости неба и угловой зависимостью коэффициента отражения Френеля при различных углах наблюдения с учетом затенения склонов волн. Обсуждаются принципы восстановления характеристик волнения моря, а также приповерхностных ветровых потоков по их проявлениям на морской поверхности при скользящих углах наблюдения.

Разработан оптический многоканальный мультиспектральный комплекс, состоящий из синхронизированных оптических приемников, имеющих спектральную чувствительность в разных участках оптического спектра с разрешением 5–10 нм. Разработанные принципы оптической диагностики прошли верификацию в натурных условиях с помощью оптического комплекса.

Remote sensing of near-surface winds by optical images of waived water surface

V. Titov (titov@hydro.appl.sci-nnov.ru), V. Bakhanov, A. Luchinin, I. Repina
Radiophysical Research Institute, 25/12a B.-Pecherskaya str., 603950 N.-Novgorod, Russia

The principles of optical multispectral remote sensing of ocean surface from UV to IR are discussed. The mechanism of the sea wave visibility taking into account the angular anisotropy of sky radiance, angular dependence of Fresnel reflection coefficient and shadowing of waves slopes at various angles of incidence is investigated. The principles for retrieving of sea roughness characteristics and near surface winds by their manifestations on waved surface under grazing angles based on the comparison of measured and modeled surface radiance are discussed.

A set of original optical multispectral devices for recoding RTI images using linear arrays of CCD-photodiodes was created. The set consist from synchronized optical receivers with narrow band optical interference filters.It is possible to form images of sea surface for various optical wave lengths with the spectral resolution of about 5–10 nm. The developed principles of optical remote sensing were verified in natural conditions using the set of optical devices.

Оценка изменения эффективной высоты нижней ионосферы по вариациям фазы ОНЧ радиосигналов в период солнечного затмения

Корсаков А.А.[1] (korsakovaa@ikfia.sbras.ru), Каримов Р.Р.[1,2], Козлов В.И.[1,2], Муллаяров В.А.[1,2]

[1]Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина *31, 677980* Якутск, Россия

[2]Северо-Восточный Федеральный университет им. М.К. Амосова, Физико-технический институт, ул. Кулаковского *48, 677000* Якутск, Россия

Регистрируемые амплитудно-фазовые вариации радиосигналов в диапазоне очень низких частот (ОНЧ: 3–30 кГц) в период солнечного затмения служат одним из источников информации о влиянии солнечного излучения на параметры волновода Земля-ионосфера. Представлены зарегистрированные в Якутске суточные вариации фазы сигнала станции Краснодар радионавигационной системы РСДН-20 в день солнечного затмения 04.01.2011, а также вариации фазы в ближайшие невозмущенные сутки 03 и 05 января 2011 г. Эффект затмения проявился в виде отклонения фазы радиосигнала от значения в невозмущенные сутки с 08:24 до 10:36 UT. В максимуме (09:33 UT) отклонение составило 0.558 радиан (16% суточной вариации). Эффективная высота волновода h определяется как уровень постоянной концентрации электронов ионосферы вдоль трассы распространения. Предполагая, что электронная концентрация в максимуме слоя изменяется в зависимости от линейной фазы затмения, получаем, что определенному значению концентрации соответствуют различные высоты. В предположении равномерно распределённого излучения по диску и короне Солнца, неизменного значения зенитного угла Солнца за время затмения, изменение высоты имеет вид:

$$dh = H \ln(I(\Phi)/I(0)),$$

где $I(\Phi)$ – поток солнечного излучения, зависящий от линейной фазы затмения Φ, $I(0)$ – полный поток в дневное время, H – нормировочный коэффициент.

Изменения фазы сигнала представим суммой элементов трассы, часть которых затенена Луной:

$$d\varphi = 0.0525\, dr\, H \sum(\ln[(1 - S(\Phi)/S_0)\, I_н/I_{дн} + (1 - S(\Phi)/S_0)\, I_0/I_{дн} + S(\Phi)/S_0]),$$

где $I_н$ – ионизирующее излучение, действующее в ночное время; $I_{дн}$ – ионизирующее излучение, действующее в дневное время; I_0 – поток от солнечной короны; $S(\Phi)/S_0$ – полученные распределения отношения площадей открытой части Солнца к полной вдоль трассы Краснодар–Якутск, с шагом $\Delta r = 0.2$ Мм и временным разрешением 3 минуты с учетом бесселевых элементов затмения 04.01.2011 от момента касания лунной полутени поверхности Земли, до момента окончания затмения. Принимается $I_н/I_{дн} = 0.01$ и $I_0/I_{дн} = 0.1$. На основе регрессионного анализа: $H = 3.74 \pm 0.19$.

Оценка изменения эффективной высоты ночного и дневного волновода на трассе Краснодар-Якутск составляет $\Delta h = 17$ км. Максимальное изменение высоты волновода в период максимального затенения трассы (09:24 UT) составило 3.31 км (55°N 51°E, $\Phi = 0.74$) Полученные оценки определяются особенностями трассы Краснодар–Якутск в рассматриваемый зимний период (большой зенитный угол Солнца над трассой и совпадение времен восхода Солнца у передатчика с заходом у приемника).

Работа поддержана РФФИ, проект № 14-05-31056 мол_а, а также грантом «Научно-образовательный фонд поддержки молодых учёных Республики Саха (Якутия)» № 2014-01-0015.

Lower ionosphere effective height changes estimated by VLF radio signals phase variations during a solar eclipse 04.01.2011

A.A. Korsakov[1] (korsakovaa@ikfia.sbras.ru), R.R. Karimov[1,2], V.I. Kozlov[1,2], V.A. Mullayarov[1,2]

[1]*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin av., 677980 Yakutsk, Russia*
[2]*Physical Technical Institute of the North-Eastern Federal University, 48 Kulakovskogo ul., 677000 Yakutsk, Russia*

Amplitude and phase variations of radio signals in the range of very low frequency (VLF: 3–30 kHz) recorded during the solar eclipse are an additional source of information of the Sun influence on the Earth-ionosphere waveguide parameters. The radio signal from Krasnodar station (RSDN-20 navigation system) was registered in Yakutsk during solar eclipse 04.01.2011. The effect of the eclipse appeared in the form of a phase deviation from 08:24 to 10:36 UT. At the maximum (09:33 UT), the deviation is 0.558 radians. The effective height of the waveguide h is defined as the constant electron density level of the ionosphere along the propagation path. The electronic density in the layer maximum changes depending on a linear phase of an eclipse, so various heights correspond to any fixed value of the concentration. Under assumption of the radiation uniformly distributed across the solar disk and solar corona and the constant solar zenith angle, the effective height changes are follows:

$$dh = H \ln(I(\Phi)/I(0)),$$

where $I(\Phi)$ – the radiation flux depending on the linear phase of the eclipse Φ, $I(0)$ – the daytime total flux, H – the coefficient of proportionality. The radiation flux during the eclipse depends on the area of the open Sun. Under assumption of sufficiently smooth variations of the waveguide height, signal phase changes along path length r can be represented as a sum of elements of the path (with due account of the Moon shading):

$$d\varphi = 0.0525\, dr\, H \sum(\ln[(1 - S(\Phi)/S_0)\, I_n/I_d + (1 - S(\Phi)/S_0)\, I_0/I_d + S(\Phi)/S_0]),$$

where I_n – the nighttime ionizing radiation, I_d – the daytime ionizing radiation, I_0 – the solar corona flux, $S(\Phi)/S_0$ – distributions of the open to full Sun areas ratio along the Krasnodar–Yakutsk path obtained based on Bessel elements and the circumstances of the eclipse 04.01.2011. An increment dr is 0.2 Mm and a time resolution is 3 minutes for the distributions $S(\Phi)/S_0$. $I_n/I_d = 0.01$ and $I_o/I_d = 0.1$ were accepted. $H = 3.74 \pm 0.19$ was obtained based on regression analysis.

Estimated changes in the effective height dh of the waveguide night and day on the Krasnodar-Yakutsk path is 17 km. The maximum change in height of the waveguide for the path maximum shading (09:24 UT) is 3.31 km (55° N, 51° E, $\Phi = 0.74$). The estimates are determined by the peculiarities of the Krasnodar–Yakutsk path in the winter (there are large Sun zenith angle along the path and a coincidence time of sunrise at the transmitter with sunset at the receiver).

The study was supported by RFBR, research project No. 14-05-31056 mol_a. The research was suported by “Scientific and Educational Foundation for Young Scientists of Republic of Sakha (Yakutia)” No. 2014-01-0015.

Оценивание тропосферной задержки радионавигационных сигналов на основе модельных представлений и данных микроволновой радиометрии о влагозапасе атмосферы

Готюр И.А., Караваев Д.М. (dm.karavaev@mail.ru), Краснов В.М., Кулешов Ю.В., Лебедев А.Б., Мешков А.Н., Щукин Г.Г.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского; ул. Ждановская *13, 197198* Санкт-Петербург, Россия

Согласно рекомендации МСЭ-R P.835-4, при расчетах характеристик распространения радиоволн в тропосфере предлагается использовать модель CIRA86aQ_U0G, созданную на основе международной модели атмосферы CIRA-86 и климатологических профилей влажности, разработанных на основе пяти эмпирических осредненных по долготам

профилей: среднегодовом для 15 с.ш., усредненным по летним месяцам для 45 с.ш. и 60 с.ш., усредненным по зимним месяцам для 45 с.ш. и 60 с.ш. В 2012 г. комиссия COSPAR рекомендовала проводить расчеты температуры, плотности составляющих атмосферу газов и плотности атмосферы ниже 120 км на основе эмпирической модели NRLMSISE-00. Кроме того, в России существует стандартная модель влажности Северного полушария (ГОСТ 26352-84), введенная в действие с 01.01.1986. В этой модели эмпирические осредненные профили влажности для широт 10°, 30°, 50° и 70° даны (в отличие от модели CIRA86aQ_U0G) для четырех различных меридианов: 0 , 80 , 180 и 280 в.д.

Целью настоящей работы является создание модели атмосферы, совмещающей глобальную модель NRLMSISE-00 и модель влажности по ГОСТ 26352-84, и позволяющей проводить на ее основе расчеты диэлектрической проницаемости вдоль траекторий распространения радиоволн в атмосфере. Для реализации модели создан специальный программный комплекс. Проверка работы модели осуществлялась на основе данных, полученных с помощью микроволновой радиометрии, позволяющей проводить непрерывные измерения влагозапаса атмосферы и тропосферной задержки в реальном масштабе времени при практически любых метеорологических условиях с высоким пространственным и временным разрешением. Значения тропосферной задержки, обусловленной водяным паром, определяются по характеристикам радиотеплового излучения атмосферы на двух-трех частотах около центра линии водяного пара 22.235 ГГц с погрешностью около 3 мм.

Экспериментальные исследования радиотеплового излучения атмосферы, влагозапаса атмосферы, тропосферной задержки, обусловленной наличием водяного пара атмосферы, в зенитном направлении проводились в различных регионах над сушей и над морем, включая район Северной Атлантики и Ленинградскую область. Среднеквадратичная разница тропосферной задержки по данным микроволной радиометрии и данным синхронного аэрологического зондирования атмосферы составила 5–10 мм. Среднее значение разности между модельными расчетами и данными микроволновой радиометрии за 22 дня измерений в районе Санкт-Петербурга составило 40 мм.

Estimation of atmospheric delay of radio navigational signals based on models and microwave radiometry water vapor data

I.A. Gotur, A.M. Devyatkin, D.M. Karavaev (dm.karavaev@mail.ru), V.M. Krasnov, Y.V. Kuleshov, A.N. Lebedev, A.N. Meshkov, G.G. Shchukin

Mozhayskiy Military Aerospace Academy, Zdanovskaia 13, 197198 St- Petersburg, Russia

According to recommendation ITU-R p. 835-4, when calculating the characteristics of radio propagation in the troposphere, it is encouraged to use the CIRA86aQ_U0G model, based on the international model of the atmosphere-CIRA 86 and climatological humidity profiles, based on five empirical longitude-averaged profiles: the annual average profile – for the 15°N, the profile averaged over summer months – for 45°N and 60°N, the profile averaged over winter months – for 45° N and 60° N. In 2012 the COSPAR commission recommended to carry out calculations of temperature, density of atmospheric gases and density of the atmosphere below 120 km on the basis of the empirical NRLMSISE-00 model. Besides, in Russia there is a standard model of humidity of the Northern hemisphere (GOST 26352-84) which is put into operation from 01.01.1986. In this model, empirical average profiles of humidity for latitudes 10°, 30°, 50° and 70° are given (unlike the CIRA86aQ_U0G model) for four various meridians: 0°E, 80°E, 180°E and 280°E.

The purpose of the real work was to create the atmosphere model combining the global NRLMSISE-00 model and model of humidity in accordance with GOST 26352-84, allowing to carry out on its basis calculations of dielectric permeability along trajectories of distribution of radio waves in the atmosphere. To realize the model, the special program complex is created. The testing of the model was carried out on the basis of data obtained by means of the microwave radiometry allowing to take continuous measurements of the atmospheric moisture content and the tropospheric

delay in real time under almost any weather conditions with high spatial and temporary resolution. Values of the tropospheric delay caused by water vapor are determined by characteristics of radio thermal radiation of the atmosphere at two-three frequencies about the center of the line of water vapor of 22.235 GHz with a margin error about 3mm.

Pilot studies of radio thermal radiation of the atmosphere, moisture content of the atmosphere, the tropospheric delay caused by the availability of atmospheric water vapor in the antiaircraft direction were carried out in various regions over land and sea, including the region of Northern Atlantic and the Leningrad region. The mean square difference of a tropospheric delay by data of microwave radiometry and data of synchronous radiosounding of the atmosphere is 5–10 mm. Average value of the difference between model calculations and microwave measurements during 22 days near St. Petersburg is 40 mm.

Воздействие неоднородностей городского острова тепла на пространственно-временных флуктуациях тропосферной задержки электромагнитных волн

Хуторов В.Е. (pri870@yandex.ru)
Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская *18, 420008* Казань, Россия

Между климатом города и его окрестностей часто наблюдается существенная разница. В крупных городах температура воздуха может быть на несколько градусов выше, чем в сельской местности. Среднегодовые температуры крупных городов превышают температуры в окрестностях в среднем на 1–2 С. Городской климат относится к явлениям мезомасштаба, которые имеют протяжённость от нескольких до десятков километров по горизонтали и до нескольких сотен метров — по вертикали. Поле температуры над городом характеризуется замкнутыми изотермами, получившими название городского острова тепла. Основные закономерности формирования и конфигурации острова тепла для крупных городов: форму его границ определяют особенности орографии территории, направления и скорости господствующих ветров; на его интенсивность оказывают влияние как размеры городской территории и её пространственная структура, интенсивность промышленной деятельности, так и внутригодовой ход фоновых метеопараметров. Каждую секунду в любую точку Земли посылают сообщения спутники ГЛОНАСС, GPS и других глобальных навигационных спутниковых систем. Их радиосигналы, проходя через атмосферу «замедляются» за счет влияния атмосферных газов. Измеряя это замедление, можно оценить состояние атмосферы, измерить коэффициент преломления электромагнитных волн. Важное достоинство радиосигналов глобальных навигационных спутниковых систем – это способность проходить через все слои атмосферы в любую погоду. Этим объясняется то внимание, которое уделяется спутниковым системам в различных программах мониторинга атмосферы. Измеренная наземным приемником фаза сигнала, излученного навигационным спутником, несет в себе информацию, характеризующую состояние атмосферы. Зная истинную дальность, можно рассчитать величину тропосферной задержки, вызваную флуктуациями атмосферных параметров.

Результаты работы показывают, что городские условия оказывают существенное влияние на флуктуации атмосферных параметров и, соответственно, на распространение электромагнитных волн в тропосфере. В среднем за день значения дисперсии флуктуаций тропосферной задержки с использованием радиотрасс над городом больше на 61%, чем значения дисперсии с использованием внегородских радиотрасс. Максимальной величины это различие достигает в период 12.00–16.00 часов по местному времени и минимальной – в ночное время. Основная причина различий – это конвекция, вызванная более высокой температурой в черте города, которая сопровождается выносом влаги с подстилающей поверхности.

Differentials in housing conditions and indoor air quality in high and low density areas of Ibadan, Nigeria

Adenike Alege (nicklines2002@yahoo.co.uk), Ana Godson (anagrow@yahoo.com)
University of Ibadan, Ibadan, Nigeria

Poor housing condition is a major environmental health problem confronting developing countries. Globally, 56% of all indoor air pollution-attributable deaths occur in children under five years of age. Several studies have been carried out on Indoor Air Quality (IAQ) in houses, but only a few compared the inequalities in the air quality index by level of density of communities. This study therefore was designed to investigate the differences in housing and IAQ in high and low density areas of Ibadan.

A comparative cross-sectional design was used. Purposive sampling was used to select a high (Beere) and low (Bodija) density area in Ibadan based on population and land use pattern. Fifty residential houses each were randomly selected from Beere and Bodija. Temperature and Relative Humidity (RH) for living rooms and bedrooms were monitored using digital sampling method. The IAQ parameters monitored and measured were: Particulate Matter (PM10), Carbon dioxide (CO_2), airborne Total Fungal Count (TFC) using standard methods. Measurements were taken twice a day (8–11am and 2–5 pm), thrice a week for a period of three months spanning the wet season from July to September, 2013. Data were compared with guideline limits of 250 C, 60%, 50µg/m^3, and 1000 ppm for Temperature, RH, PM10 and CO_2 respectively. The TFC was compared with the American Industrial Hygiene Association (AIHA) guideline limit of 50cfu/m^3. Fungal identification and isolation of predominant species were carried out using standard procedures. An on-site observational checklist was used to obtain information on key housing indicators such as ventilation, sanitary facilities and building materials which were scored using the US Department of Housing and Urban Development (HUD) criteria. Data were analysed using descriptive statistics, Chi-square, ANOVA and Spearman correlation test at 5% level of significance.

Indoor temperatures for living rooms and bedrooms were significantly different in the two communities: Beere (living room = 30.2 ± 1.9; bedroom = 29.5±1.5), Bodija (living room = 29.2 ± 1.8; bedroom = 28.7 ± 1.5). Indoor RH were also significantly different in Beere (living room = 71.6 ± 7.8; bedroom = 79.4 ± 7.9), and Bodija (living room = 62.4 ± 8.7; bedroom = 67.3 ± 9.1). Indoor PM10 were significantly different in Beere (living room = 184.5 ± 22.9; bedroom = 173.6 ± 18.6), and Bodija (living room = 83.8 ± 27.2; bedroom = 72.4 ± 22.3). Indoor CO_2 were significantly different in Beere (living room = 1212.7 ± 78.6; bedroom = 1303.3 ± 86.0), and Bodija (living room = 496.9 ± 109.8; bedroom = 676.6 ± 139.4). Indoor TFC were significantly different in Beere (living room = 79.5 ± 10.1; bedroom = 96.7 ± 21.3), and Bodija (living room = 53.2 ± 6.6; bedroom = 57.5 ± 9.3). The isolated fungi included Aspergillus spp., (Beere =12 cfu/m^3; Bodija = 4 cfu/m^3), Penicillium spp., (Beere = 10 cfu/m^3; Bodija = 3 cfu/m^3), Fusarium spp., (Beere = 14 cfu/m^3; Bodija = 4 cfu/m^3), Candida spp., (Beere = 7 cfu/m^3; Bodija = 2 cfu/m^3). There was a significant positive correlation between RH and TFC for Beere (r = 0.5) and Bodija (r = 0.6). A significantly higher proportion of residential housing conditions in Beere were poor (93.6%) compared to Bodija (6.4%).

Poor housing standards and indoor air quality were found in high density area. Routine monitoring of housing is advocated to ensure compliance with stipulated standards especially in the high density areas and slum settlements.

Восстановление оптических параметров облака по данным самолетных измерений **NASA** рассеянной солнечной радиации

Мельникова Ирина[1] (irina.melno@yandex.ru), Кузнецов Анатолий[1], Гатебе Чарльз[2]
[1]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия
[2]*NASA, Goddard Space Flight Center, Mail Code 613.2, Greenbelt, MD 20771, USA*

Аналитический метод обратных асимптотических формул теории переноса применяется для решения обратной задачи оптики облаков. Используемый метод обладает преимуществами по сравнению с методами других авторов, потому что не накладывает строгих ограничений и связей на искомое решение. В докладе представлены строгие формулы, составляющие суть аналитического решения обратной задачи.

Рассматриваемые данные NASA получены с помощью прибора Cloud Absorption Radiometer (CAR) над, под и внутри облачного слоя в рамках программы «Южно-африканская региональная научная инициатива 2000» в 2-х полетах, над морской поверхностью у побережья Южной Африки на широте 20.0–21.7°ю.ш. и долготе 13.0–13.7°в.д. Высота полета менялась в диапазоне от 54 до 1200 м, высота уровней полета под облачным слоем была от 50 до 404 м, внутри облака 60–790 м и над облаком 800–1200 м. Измерения внутри облака проводились на большом количестве уровней примерно через 10 м. На каждом уровне регистрировалось по несколько сканов (до 10). Геометрическая толщина слоя облаков составила 400 м в одном эксперименте и 1020 м в другом. Радиационные эксперименты длились около 1 часа, среднее значение зенитного угла солнца 37.6°. Радиометр CAR измеряет интенсивность рассеянной солнечной радиации в зенитных углах визирования от зенита до надира с шагом 1° в 8 спектральных каналах 0.340; 0.381; 0.472; 0.682; 0.870; 1.035; 1.219; 1.273 мкм. Таким образом, восходящая и нисходящая интенсивности измерены в 90 направлениях визирования каждая.

В процедуре восстановлении параметров из измерений интенсивности рассеянной солнечной радиации (на верхней, нижней границах и на разных уровнях внутри облачного слоя) используются данные для большого количества направлений визирования. В условиях полета положение самолета определяется углами крена, тангажа и рыскания. Даже при стабильном полете эти углы подвержены случайным вариациям, что и определяет случайные погрешности измерения интенсивности рассеянной радиации в зависимости от направления визирования. При измерении интенсивностей радиации упомянутые обстоятельства очень сильно ухудшают точность измерений. Эти погрешности оказалось возможным оценить благодаря регистрации по несколько сканов на каждой высоте полета. Большой набор углов визирования позволяет определить искомые параметры для каждого угла и выполнить регуляризацию решения с учетом погрешностей измерений.

Рассматривается модель плоского, однородного, бесконечно протяженного облака, освещенного на верхней границе параллельным потоком солнечной радиации. Для решения задачи используются данные измерений интенсивности рассеянной радиации на верхней и на нижней границах облака отдельно и совместно, а также данные измерений внутри облака. Учтено влияние горизонтальной неоднородности облака на точность решения обратной задачи. Представлены значения полученных оптических параметров.

Авторы выражают благодарность за поддержку работы Государственный контракт № 16.740.11.0619 от 31 мая 2011 г. «Разработка методов исследования физических процессов формирования загрязнения атмосферы дымами и смогом»; Соглашение № 14.B37.21.1528 от 01.10.2012 г. «Моделирование процессов формирования и динамики полей атмосферного аэрозоля, образовавшихся в результате лесных пожаров, для оперативного прогнозирования состояния атмосферы и изучения регионального климата»; Соглашение № 14.574.21.0088 от 16.07.2014 г. (тема: "Проведение прикладных научных исследований по разработке автоматизированной информационной системы мониторинга и прогноза баланса ливневых стоков для городских систем водоотведения") в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020

годы» (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57414X0088).

Retrieval of cloud optical parameters from NASA airborne observations of diffused solar radiation

Irina Melnikova[1] (irina.melno@yandex.ru), Anatoly Kuznetsov[1], Charles Gatebe[2]
[1]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*
[2]*NASA, Goddard Space Flight Center, Mail Code 613.2, Greenbelt, MD 20771, USA*

The analytical approach of inverse asymptotic formulas of the radiative transfer theory is used for solving inverse problems of cloud optics. The used method has advantages compared to the methods of other authors, because it does not impose strict constraints, and relationships on the desired solution. The report presents rigorous formulas which constitute the essence of the analytical solution of the inverse problem.

Considered NASA data obtained with the help of the instrument “Cloud Absorption Radiometer” (CAR) over, under and inside the cloud layers in the framework of the "South African Regional Science Initiative 2000" in 2 flights over the sea surface at the coast of South Africa (20.0–21.7°S, 13.0–13.7°E). Flight height varied from 54 to 1200 m: under the cloud layer – from 50 to 404 m, inside the cloud – from 60 to 790 m and above the cloud – from 800 to 1200 m. Measurements inside the cloud were carried out on a large number of levels approximately through 10 m. The geometrical thickness of the cloud layer was 400 m in one experiment and 1020 m in another one. Radiation experiments continued about 1 hour, the average value of the solar zenith angle was 37.6°. Radiometer CAR measures the intensity of the diffuse solar radiation at viewing zenith angles from Zenith to Nadir with step 1° in 8 spectral channels 0.340; 0.381; 0.472; 0.682; 0.870; 1.035; 1.219; 1.273 μm. Thus, the upward and downward intensities were measured in 90 viewing directions. Multiple scans (up to 10) were recorded at each level in every channel simultaneously.

In the procedure of retrieving the parameters from measurements of the solar scattered radiation (at the cloud top, base, and at different levels within the cloud layer), data for a large number of viewing directions were used. In-flight position of the aircraft is determined by the angles of roll, pitch and yaw. Even in stable flight, these angles are subject to random variations, which determine the random measurement error depending on the viewing direction. It was possible to assess these errors due to the registration of several scans at each altitude. A large set of viewing angles provide defining the required parameters for each viewing angle and implement the solution regularization with consideration for observational errors.

The cloud model is assumed as a homogeneous plane-parallel slab of infinite horizontal extent. For solution, observational data at the cloud top and base separately and jointly, as well as measurements inside the cloud are used. The impact of horizontal cloud inhomogeneity on the accuracy of the inverse problem solution is analyzed. Values of obtained optical parameters are presented.

The authors are grateful for the support of work to State contract number 16.740.11.0619 of 31.05.2011 “Development of methods for studying the physical processes of the formation of atmospheric pollution by smoke and smog"; Agreement No. 14.B37.21.1528 from 01.10.2012 "Modeling of the formation and dynamics fields of atmospheric aerosol, formed as a result of forest fires, for operational forecasting of the atmosphere and study of regional climate"; Agreement No. 14.574.21.0088 from the 16.07.2014 (topic: Conducting applied research on the development of an automated information system for monitoring and forecasting the balance for urban storm water drainage systems") in the framework of realization of the Federal target program "Research and development on priority directions of development of scientific-technological complex of Russia for 2014–2020" (a Unique identifier for applied scientific research (project) RFMEFI57414X0088).

Atmospheric methane variability at the Peterhof station (Russia): ground-based observations and modeling

Maria Makarova[1] (zaits@troll.phys.spbu.ru), Oliver Kirner[2] (ole.kirner@kit.edu), Anatoliy Poberovskii[1], Humud Imhasin[1], Yuriy Timofeyev[1]
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Dept., 1 Ulianovskaya st., 198510 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*Karlsruhe Institute of Technology, 12 Kaiserstraβe, 76131 Karlsruhe, Germany*

The station (59.88 N, 29.83 E, 20 m asl) for atmospheric monitoring of Saint-Petersburg State University is located in Peterhof, the suburb of Saint-Petersburg (~ 35 km from the city center). FTIR (Fourier transform IR) observations of methane total column are being carried out by Bruker IFS125 HR since 2009. The study presents a joint analysis of experimental data and EMAC (ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry model) model simulations for Peterhof over the period of 2009–2012.

It has been shown that CH_4 total columns (TC) and column-averaged dry-air mole fractions (MF) obtained from observations are higher than model results with the difference of 1.3% and 0.3% respectively. The correlation coefficients between FTIR and EMAC data are statistically significant (with 95% confidence) and equal to 0.82 ± 0.08 and 0.4 ± 0.1 for TC and MF of CH_4 respectively. The high correlation for TCs shows that EMAC adequately reproduces CH_4 variability due to meteorological processes in the atmosphere. On the other hand, the relatively low correlation coefficient for CH_4 MF probably indicates an insufficiently precise knowledge of sources and sinks of the atmospheric methane. Amplitudes of the mean annual cycle of CH_4 TC for experimental and model datasets (2009–2012) are of 2.1% and 1.5% respectively. The same amplitudes calculated for MF are less than for TC: 1.1% for FTIR and 0.6% for EMAC. Difference between FTIR and EMAC annual variations has pronounced the seasonality with a maximum in September–November. It could be attributed to the underestimation of methane natural sources in the emission inventory used for EMAC simulations.

The analysis of modeling results allowed us to estimate the influence of the limited number of sunny days with FTIR measurement (i.e. specific meteorological conditions which usually take place during FTIR observations) on obtained FTIR estimates of the mean levels of TC and MF over 2009–2012. The systematic shifts of FTIR mean levels of TC and MF from the true ones were detected for the Peterhof station (0.4% for TC and – 0.2% for MF). It should be also noted that the limited number of sunny days may distort the annual cycle estimated from FTIR data (comparing to true). This fact has to be taken into account when mean levels of CH_4 TC and MF obtained from FTIR are compared against climatological or averaged model data.

Both, FTIR observations and EMAC simulations, revealed the positive trend of CH_4 over 2009–2012 of about 0.2% per year (statistically significant). FTIR data for 2013 that were taken into account led to a decrease in trend value from 0.2%/yr (2009–2012) to 0.13%/yr (2009–2013). It may indicate the end of the period of extremely high growth rates of methane in the atmosphere that have been registered by different observational systems since 2006.

This study was funded by Russian Foundation for Basic Research (14-05-897). The data processing and analysis were supported by the Russian Science Foundation, project 14-17-00096. Measurement facilities were provided by Geo Environmental Research Center “Geomodel” of Saint-Petersburg State University.

Information content of ground-based measurements of atmospheric microwave radiation by radiometer RPG-HATPRO near Saint-Petersburg

V.S. Kostsov (vlad@troll.phys.spbu.ru), Yu.M. Timofeyev, N.A. Zaitsev, A.V. Poberovskii
Saint-Petersburg State University, Faculty of Physics, 1 Ulyanovskaya, 198504 Saint-Petersburg, Russia

The information content of ground-based measurements of atmospheric microwave (MW) radiation with respect to temperature and humidity profiles has been analyzed for the conditions of

St. Petersburg region on the basis of experimental data from RPG-HATPRO radiometer without application of numerical modeling. The results of MW radiation brightness temperature measurements in 14 channels of the RPG-HATPRO radiometer have been analyzed for the time period of 2013–2014. Comparative estimations of information content of MW measurements with respect to tropospheric temperature and humidity for different time periods, frequency and conditions of observations have been obtained in terms of “information volume” (by V.P.Kozlov) on the basis of calculations of eigenvalues of brightness temperature covariance matrices.

The information content of MW observations has been compared to other measurement systems. Correlations of measurements in different spectral channels have been analyzed. Covariance matrices for tropospheric temperature and humidity have been obtained from radiosonde data at Voeikovo station and also cross-covariance matrices have been obtained (temperature-brightness temperature and humidity-brightness temperature) based on MW measurements synchronized with radiosoundings. These matrices have been used for calculations of information quantity (by Shannon) contained in MW measurements with respect to temperature and humidity.

This study was supported by the Russian Science Foundation (grant No.14-17-00096). Measurement facilities were provided by Geo Environmental Research Center “Geomodel” of Saint-Petersburg State University.

Новые методы многопозиционного лидарного зондирования атмосферы

Егоров А.Д. (egorovad@rambler.ru), Драбенко В.А., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются новые интегральные методы лидарного зондирования атмосферы. С помощью незначительной аппроксимации результатов многопозиционных измерений достигается значительное снижение случайных погрешностей определения искомых параметров в условиях неоднородной атмосферы.

Представлены методы двухпозиционного лидарного зондирования неоднородной атмосферы, основанные на интегральном решении лидарного уравнения для одной трассы зондирования. Показано, что интегральный метод может обеспечить более высокую точность определения коэффициента ослабления по сравнению с дифференциальным методом.

С использованием данных эксперимента разработаны модели неоднородной частицы аэрозоля, отличающиеся тем, что размеру частицы ставится в соответствие толщина слоя покрытия. Показано, что разработанные модели адекватно описывают процесс направленного рассеяния излучения частицей. Модели использованы для интерпретации данных лидарного зондирования атмосферы.

New methods of multiposition lidar atmospheric probing

A.D. Yegorov (egorovad@rambler.ru), V.A. Drabenko, I.A. Potapova, Yu.B. Rzhonsnitskaya, N.A. Sanotskaya

Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., St. Petersburg, 195196 Russia

New integral methods for the atmospheric lidar probing date interpretation are considered. The essential diminishing of the random errors of multiposition lidar measurements is achieved by an approximation of results of retrieving the aerosol optical characteristics in inhomogeneous atmosphere conditions.

New integral and differential methods for the atmospheric multiposition lidar probing using one beam-path segment are presented. It is shown that integral methods are preferable for the determination of the extinction coefficient.

The simulation of scattering characteristics of atmospheric aerosols particles was carried out using experimental data. Adequate description of the scattering process was obtained using the model of inhomogeneous particle. The developed models are used for the atmospheric lidar probing date interpretation.

Обнаружение следов извержения вулкана Баурдарбунга над Обнинском, Россия

Широтов В.В. (shirotov@rpatyphoon.ru), Тереб Н.В.
НПО “Тайфун”, ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Калужская обл., Россия

На озонометрической станции «Обнинск» (55.1° с.ш., 36.6° в.д., GAW ID – OBN) начиная с 1992 г. проводится мониторинг содержания озона и диоксида серы в столбе атмосферы (т.е. общего содержания) при помощи спектрофотометра Брюера (Brewer Mk II # 044). Данные по общему содержанию диоксида серы могут быть использованы для оценки степени загрязнения им атмосферы в результате антропогенной деятельности человека и естественных явлений, в частности извержения вулканов. С этой точки зрения, для европейской части Российской Федерации, как и для других европейских государств, учитывая западный перенос воздушных масс, представляет опасность состояние вулканов, расположенных на острове Исландия. На протяжении последних лет несколько исландских вулканов проявляли активность, приводящую, в том числе, к появлению облаков с повышенной концентрацией SO_2. Однако, до 2014 года, насколько нам известно, наземными средствами не было зафиксировано повышенного общего содержания SO_2 в европейской части Российской Федерации. В конце августа 2014 года началось новое извержение подлёдного вулкана Баурдарбунга (исл. Bárarbunga), расположенного на юго-востоке Исландии (64.64° с.ш., 17.56° з.д.). Это извержение встревожило европейскую общественность, связавшую его с крупным извержением исландского вулкана Эйяфьядлайёкюдль в 2010 году, из-за которого было парализовано воздушно-транспортное сообщение в значительной части северо-западной Европы.

Представляемая работа содержит результаты мониторинга следов вулканической деятельности Баурдарбунга над г. Обнинском (Российская Федерация) посредством измерения общего содержания SO_2 – одного из основных компонентов вулканических выбросов. В один из дней, а именно, 18 сентября были зафиксированы утренний (6:30 GMT) и вечерний (12:30 GMT) пики с амплитудами 3 и 2.7 е.Д., соответственно, в данных по общему содержанию SO_2, в то время как его среднее фоновое значение находилось в области 1 ÷ 1.5 е.Д. Данные пики уверенно можно интерпретировать как регистрацию прохождения облака с повышенным содержанием SO_2, т.к., во-первых, методика и алгоритм, использовавшиеся нами, позволяют получать разрешение общего содержания SO_2 на уровне 1 ÷ 1.5 е.Д., во-вторых, если бы эти пики были артефактами, вследствие некорректного восстановления данных, то они бы сопровождались противоположно направленными пиками в общем содержании O_3, чего не наблюдалось, и, в-третьих, наши результаты хорошо согласуются с данными, полученными NASA (США). Эти данные были сконфигурированы на общедоступном интернет-сайте NASA с использованием материалов, полученных в рамках проекта по мониторингу общего содержания озона в атмосфере Земли с помощью прибора OMI, установленном на исследовательском спутнике AURA. При этом наблюдается даже хорошее количественное соответствие результатов спутниковых и наших наземных измерений.

В качестве основных результатов работы можно отметить то, что впервые на европейской части территории Российской Федерации с помощью наземных

спектроскопических наблюдений зарегистрировано облако с повышенным содержанием диоксида серы, образовавшимся в результате извержения вулкана. Облако диоксида серы, образовавшееся при извержении вулкана Баурдарбунга (Исландия), было зафиксировано с помощью спектрофотометра Brewer MkII, расположенного на озонометрической станции «Обнинск», расположенной примерно в 3000-х километров от эпицентра извержения. Полученные наземные данные имеют хорошее качественное и количественное согласие со спутниковыми данными, полученными NASA (США).

Observation of Baurdarbunga volcano activity over Obninsk, Russia

V.V. Shirotov (shirotov@rpatyphoon.ru), N.V. Tereb
Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia

Since 1992 meteorological station "Obninsk" (55.1°N, 36.6 °E, GAW ID – OBN) atmosphere ozone (O_3) and sulfur dioxide (SO_2) monitoring has been carried out by measuring their the total column amount using Brewer spectrophotometer (Brewer Mk II # 044). These data can be useful for assessment of atmosphere pollution caused by man-made emission or natural sources as the volcano eruption. Considering the last point and taking into account a western air masses transfer the status of all volcanoes located in Iceland is of great value for a European part of Russian Federation as for the whole Europe. During the last decade several volcanoes, located in Iceland, demonstrated remarkable activity and perturbed European community because of huge amount of volcano product components, including dust and sulfur-bearing chemicals released during these processes. But up to 2014, as far as we know, ground based meteorological stations located on European part of Russian Federation never registered the sulfur dioxide total column amount above the background value, which can be attributed to the volcano eruption. In August 2014 the ice-covered volcano Baurdarbunga, located in south-east Iceland (64.64°N 17.56°W) started to demonstrate the new activity. This volcano activity caused a European community concern because it was associated with former great Eyjafjallajökull volcano eruption in 2010, which led to great troubles for air communications in northwest Europe.

We guessed that we were able to detect Baurdarbunga volcano activity by measuring total column amount of sulfur dioxide, which was one of the main volcano emission components. During 18 of September two spikes: morning (6:30 GMT) and evening (12:30 GMT) in the sulfur dioxide total column amount with amplitudes up to 3 and 2.7 D.U., correspondingly, were registered, when the longterm background value was from 1 to 1.5 D.U. We considered these spikes as a proof of the fact that sulfur dioxide clouds were passing over the Obninsk meteorological station, because first – the resolution of applied recovering method was about 1.5 D.U. Second, if these peaks were owing to the incorrect data retrieval, they would be followed by opposite directed peaks in the total ozone column amount which were not observed. And third, our results agree quite well with data obtained in NASA (USA) using satellite based apparatus including Ozone Monitoring Instrument (OMI) employed in the frame of AURA research project.

So, presented results can be considered as the registration, for the first time, the sulfur dioxide cloud released as the result of volcano activity over the European part of Russian Federation using ground based optical measurements. The sulfur dioxide cloud released during Baurdarbunga (Iceland) volcano activity was registered by Brewer MkII spectrophotometer located at the meteorological station "Obninsk" at rather large distance of about 3000 km. Results, obtained using ground based measurements, have good qualitative and quantitative correlation with satellite based observation carried out by NASA (USA).

Автоматизация сбора информации в системе мониторинга атмосферы с помощью синхронной сети наземных метеостанций и приемников спутниковых навигационных систем

Жих С.С., Краснов В.И. (krasnov.v.i@gmail.com), Хуторова О.Г., Дементьев В.А., Хуторов В.Е., Журавлев А.А.
Казанский Федеральный Университет, Институт физики, ул. Кремлевская *16а, 420008* Казань, россия

Актуальность проводимой нами работы обусловлена необходимостью повышения точности, скорости прогнозирования и качества моделирования атмосферных процессов, а, следовательно, и качества моделирования распространения электромагнитных волн в средах. Цель проводимой работы – построение комплекса моделирования и прогнозирования атмосферных процессов. Комплекс состоит из распределенной сети приемников GPS/ГЛОНАСС, сервера хранения данных и вычислительного сервера с моделью WRF 3.2. При проведении работ разрабатывалось ПО для передачи данных радиоизмерений со станций приема спутникового сигнала на сервер хранения данных, для получения и сортировки данных на сервере, для выборки и представления результатов моделирования и проводилась установка, настройка и верификация модели WRF 3.2 на вычислительном сервере.

Приемная сеть метеостанций состоит из навигационных приемников сигналов системы GPS или ГЛОНАСС. Каждый узел включает в себя приемный модуль и малогабаритную антенну с малошумным усилителем. Устройство, как правило, использует собственную антенну и автономно вычисляет географические координаты и всемирное время (UTC) по навигационным сигналам. Захватив сигнал, навигационный приемник автоматически синхронизирует собственные часы, вычисляет координаты объекта, скорость сигнала и всемирное время, и формирует отчет. После полного развертывания созвездия ИСЗ в любой точке Земли могут быть видны от 5 до 12 спутников в произвольный момент времени. Современные GPS-приемники имеют до 80 каналов, т.е. могут одновременно принимать сигналы от такого количества ИСЗ. Передающая аппаратура спутника излучает синусоидальные сигналы на двух несущих частотах: L_1 = 1575.42 МГц и L_2 = 1227.6 МГц. В работе применяют антенны-приемники с платами двух моделей: антенна Novatel GPS-702 с платой приемника OEM-V3 и антенна с платой приемника Novatel SS-II.

Приемники сигнала GPS/ГЛОНАСС установлены в различных точках города Казани с разным пространственным разнесением. Такое расположение обеспечивает различное пространственное разрешение измерений. Данные с сети приемников снимаются с интервалом в 1 сек и записываются на локальный накопитель данных. Раз в сутки данные отправляются в институт физики К(П)ФУ, где находится вычислительный сервер и сервер хранения данных. Связь метеостанций и приемников сигнала GPS/ГЛОНАСС осуществляется через глобальную сеть Интернет с использованием VPN туннеля и протокола ssh. Время отправки данных устанавливается пользователем. Вычислительный сервер строится на базе ос Linux Ubuntu и модели WRF 3.2. Модель предназначена как для оперативного прогнозирования, так и для атмосферных исследований. Она содержит в себе необязательные подсистемы моделирования химических преобразований (WRF-Chem) и ассимиляции данных (WRF-Var). Архитектура программного обеспечения позволяет ее масштабировать и использовать технологии параллельных вычислений. Существует две версии ядра модели. Первая версия – Advanced Research WRF (ARW) поддерживается сообществом отдела мезомасштабной и макромасштабный метеорологии Национального Центра Атмосферных Исследований. Второе ядро WRF-NMM поддерживается сообществом разработчиков тестового центра (the Developmental Testbed Center). Для своих исследований мы использовали ядро WRF-ARV.

Верификация модели WRF 3.2 проводилась ранее в нашей работе. При проведении эксперимента моделировалась область города Казани. Центр моделируемой области располагается в точке с координатами 55.791 с.ш., 49.118 в.д. Размер исследуемой области

100x100 км с пространственным шагом 1 км и временным шагом 6 ч. Данные наблюдений усваивались на сетке с пространственным шагом моделирования 30 сек. Общее время моделирования 5 суток за период с 1.05.2013 по 6.05.2013. На моделируемую область накладывалась виртуальная сетка станций приема сигнала GPS с шагом 10 км. В виду большого объема данных и в особенности при высоких разрешениях время, необходимое модели для завершения вычислений, становится значительным и может достигать нескольких суток непрерывных вычислений. Для сокращения времени работы, было принято решение производить вычисления на кластере с использованием параллельных процессов. В качестве технологий параллельных вычислений были выбраны CUDA – вычисление на графическом процессоре и OpneMPI – вычисление на центральном процессоре с распределением процессов между ядрами. После проведения расчетов результаты помещаются на сервер хранения. Для удобного получения результатов используется WEB сервис, позволяющий выгрузить файлы в заданном временном интервале. Сотрудники имеют доступ не только из университета, но и с персональных компьютеров через VPN канал. Сертификат для подключения по VPN является именным и выдается каждому сотруднику индивидуально. Система строится как автономный комплекс, работающий с минимальным вмешательством оператора.

Применение гофрированных рупорно-линзовых антенн в качестве малошумящих антенных датчиков комплексов термического и влажностного зондирования атмосферы

Бойков Н.А., Рыбаков Ю.В. (y.rybakov@mail.ru), Воронин В.А.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

Входным элементом любой подобной системы является антенный датчик, к которому предъявляются требования по минимизации коэффициента рассеяния для уменьшения влияния меняющегося фонового окружения, а также возможности работы в нескольких диапазонах частот, часто значительно отличающихся. В большинстве конструкций антенных датчиков используется схема параболической антенны с вынесенным облучателем. При небольших размерах (в единицах длин волн) параболического переотражателя антенна может стать недостаточно эффективной с точки зрения малого коэффициента рассеяния, в виду чего имеет смысл использовать гофрированные рупорно-линзовые антенны – конические или пирамидальные. Общее преимущество гофрированных антенн заключается в создании спадающего до нуля амплитудного распределения поля в E и H плоскостях, за счет чего, теоретически, можно получить коэффициент рассеяния вне главного лепестка порядка нескольких процентов. В настоящее время наиболее исследованы конические гофрированные антенны (как облучатели больших радиоастрономических антенн) и в меньшей степени – конические гофрированные рупорно-линзовые антенны. Их основным недостатком является трудность изготовления и настройки, а также невозможность работы в сильно разнесенных диапазонах частот даже на разных поляризациях. Пирамидальные гофрированные рупорно-линзовые антенны, которые возможно изготовить на фрезерном станке в виде сборной конструкции, обладают рядом технологических преимуществ, что делает их перспективным вариантом антенного датчика.

В докладе приведены сравнительные характеристики экспериментальных диаграмм направленности для изготовленных малых серий конических и пирамидальных гофрированных рупоров с просветленными линзами из фторопласта. Кроме того, приведены экспериментальные результаты по совмещенной пирамидальной антенне с биортогональным широкополосным облучателем с выходом на коаксильные разъемы в диапазоне f = 20–40 ГГц.

Use of corrugated horn-lens antennas as low-noise antenna sensors for thermal and moist atmospheric sounding complexes

N.A. Boikov, Yu.V. Rybakov (y.rybakov@mail.ru), V.A. Voronin
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

Entrance element of any similar system is the antenna sensor to which requirements for minimization of dispersion coefficient for reduction of the changing background environment influence, and also possibilities of work in several ranges of frequencies, often considerably different are imposed. In the majority of designs of antenna sensors the scheme of the parabolic antenna with the taken-out irradiator is used. At the small sizes (in terms of lengths of waves) of a parabolic rereflector the antenna can become insufficiently effective from the point of view of small dispersion coefficient, in a type of that it makes sense to use corrugated horn-lens antennas – conic or pyramidal. The general advantage of corrugated antennas consists in the creation of the amplitude distribution of a field which is falling down to zero in E and the H-planes at the expense of what it is, theoretically, possible to receive dispersion coefficient out of the main petal about several percent. Now conic corrugated antennas (as irradiators of big radio-astronomical antennas) and to a lesser extent conic corrugated horn-lens antennas are most investigated. Their main shortcoming is the production and control difficulties and also the impossibility of work in strongly carried ranges of frequencies even at different polyarizations. Pyramidal corrugated ruporno-lens antennas which are possible for making on the milling machine in the form of a combined design possess a number of technological advantages that does them by perspective option of the antenna sensor.

Comparative characteristics of experimental directional patterns for the made small series of conic and pyramidal corrugated horns with the brightened-up lenses from a teflon are provided in the report. Besides, experimental results on the combined pyramidal antenna with a biorthogonol broadband irradiator with an exit to coaxial sockets in the range of 20–40 GHz are given.

СВЧ-радиометрический комплекс влажностного зондирования атмосферы

Бойков Н.А., Герасимов О.А., Дроздов Д.В., Рыбаков Ю.В. (y.rybakov@mail.ru), Семенов Е.А., Трубников В.С.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время ГГО им. А.И. Воейкова заканчивает создание региональной сети из пяти радиометрических комплексов влажностного зондирования атмосферы (РК ВЗА) на Северо-Западе РФ, которая позволит осуществлять непрерывный мониторинг изменений интегрального влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков над пунктами наблюдений. Измерение интегральных характеристик влажности основано на тесных корреляционных связях между полем радиояркостных температур в области резонанса линии поглощения водяного пара на $f = 22.235$ ГГц и интегральным влагозапасом атмосферы. При этом качественная связь между нисходящими и восходящими движениями воздушных масс, которые соответствуют пониженным и повышенным значениям влагозапаса, позволяет восстановить синоптическую обстановку по полю интегрального влагосодержания, а именно: положение фронтальных разделов, циклонов, антициклонов, что дает возможность осуществлять краткосрочный прогноз этих явлений [1]. Различные теоретические и методические аспекты этой задачи, а также измерение водозапаса облаков подробно рассмотрены в [2, 3].

В техническом плане РК ВЗА включает в себя малошумящий антенный датчик, 3-х канальный радиометр, системы индикации работоспособности, метеозащиты, сбора и обработки данных и объединения информации с каждого комплекса для создания

пространственной карты интегрального влагосодержания на тематическом сервере в п. Воейково. Антенный датчик каждого РК ВЗА выполнен в виде гофрированной рупорно-линзовой антенны с расчетной шириной диаграммы направленности $\theta_{0.5} = 7$ на f = 22.235 ГГц и коэффициентом рассеяния вне главного лепестка порядка β = 1%. СВЧ-радиометр собран в виде модульной конструкции по схеме модуляционного приемника прямого усиления на базе широкополостных усилительных микрочипов диапазона f = 20–40 ГГц. Метеозащита выполнена на основе использования радиопрозрачного фторпластового окна с малыми потерями в вариантах расположения комплекса как внутри лабораторного помещения, так и вне его. Индикация работоспособности производится по меткам от шумового генератора и источника опорной температуры, встроенных во входную цепь с автоматическим или ручным включением. Корпус радиометра выполнен таким образом, чтобы обеспечить легкий доступ ко всем элементам и высокую ремонтопригодность. Калибровка комплекса производится по радиояркостной температуре с помощью широкоапертурного эталона низких температур ВНИИФТРИ. Планируется рассмотреть возможность расширения сети за счет установки комплекса на мобильной платформе.

1. Домбковская Е.П., Рабинович Ю.И. Анализ результатов измерений радиоизлучения атмосферы в эксперименте "Беринг" (вараинт А) В сб. "Советско-американский эксперимент "Беринг". Л.: Гидрометеоиздат. 1975. С. 43–60.
2. Ulaby F.T., Moore R.K., Fung A.K. *Microwave Remote Sensing. Active and Passive* v1. 1981. 1097 p.
3. Степаненко В.Д. и др. Радиотеплолокация в метеорологии. Л.: Гидрометеоиздат. 1987. 283 с.

Microwave radiometric complex for moisture atmospheric sounding

N.A. Boikov, O.A. Gerasimov, D.V. Drozdov, Y.V. Rybakov (y.rybakov@mail.ru), E.A. Semenov, V.S Trubnikov

A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

Now A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory finishes the creation of a regional network from five radiometric complexes for the moisture atmospheric sounding (RC MAS) in the Northwest of the Russian Federation which will allow carrying out the continuous monitoring of changes in the total moisture content of the atmosphere and liquid cloud water content over points of supervision.

Measurement of integrated characteristics of humidity is based on close correlation connections between the field of the radio brightness temperatures and an integrated atmospheric moisture content in the absorption line of water vapor at f = 22.235 GHz. Thus the high-quality relation between the descending and ascending movements of air masses which correspond to the lowered and increased values of the moisture content, allows to restore a synoptic situation across the field of integrated moisture content, namely: the location of frontal sections, cyclones, anti-cyclones that gives the chance to carry out the short-term forecast of these phenomena [1]. Various theoretical and methodical aspects of this task, and also results of measurements of the liquid cloud water content are in detail considered in [2, 3].

RC MAS includes the low-noise antenna sensor, the 3-channel radiometer, systems of indicating, meteoprotecting, collecting and data processing and combining the information from each complex for the creation of the spatial maps of integrated moisture at the server at Voeikovo. The antenna sensor is executed in the form of the corrugated ruporno-lens antenna with a settlement width of the directional pattern $\theta_{0.5} = 7$ at f = 22.235 GHz and the dispersion coefficient out of the main petal of an order β = 1%. The microwave radiometer is assembled in the form of a modular design according to the scheme of the modulation receiver of direct strengthening on the basis of broadband intensifying microchips of range of f = 20–40 GHz. Meteoprotection is executed on the basis of using the radiotransparent teflon window with small losses in options of an arrangement of the complex both in the laboratory room, and out of it. Indication of working capacity is made on tags from the noise generator and a source of basic temperature which is built in an entrance chain with automatic or manual inclusion. The case of the radiometer is executed so that to provide easy access to all elements and high maintainability. Calibration of the complex is made by the radio

brightness temperature by means of a wide-aperture standard of low temperatures of VNIIFTRI. It is planned to consider a possibility of expansion of the network due to the installation of the complex on a mobile platform.

1. Dombkovskaya E.P., Rabinovich Yu.I. Analysis of resulys of measuring the atmospheric radiation in the Bering experiment. In *Soviet-Russian experiment "Bering"*. Leningrad: Hydrometizdat. 1975. P. 43–60 (in Russian).
2. Ulaby F.T., Moore R.K., Fung A.K. *Microwave Remote Sensing. Active and Passive* v1. 1981. 1097 p.
3. Stepanenko V.D. et al. *Radioteplolocatsiya in meteorology*. Leningrad: Hydrometizdat. 1987. 283 p.

О параметре "возмущённости" неоднородного флуктуирующего дифракционного экрана

Белов С.Ю.[1] (Belov_Sergej@Mail.Ru), Белова И.Н.[2]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы горы *1, 119991* Москва, Россия

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

Получение надёжных данных о параметре сигнал/шум $_k$ возвращённого дифракционным экраном (ионосферой) радиосигнала (ИС) представляет интерес: как в качестве характеристики "возмущённости" статистически неоднородной, флуктуирующей ионосферной плазмы, так и качестве показателя надёжности работы каналов связи, в том числе и диагностических. В настоящей работе исследован вопрос об оптимизации методик измерения параметра $_k$ с точки зрения допускаемых аналитических (относительных) погрешностей. Индекс K = E,R2,R4 означает регистрируемый первичный параметр ИС: квадратуру E или огибающую R и соответствующий метод (E – когерентный; R2, R4 – некогерентные). Широко используются: 1) стандартный R2-метод, когда $_{R2} = f_{R2}(\ _{R2})$ [1]; 2) когерентный E-метод, $_E = f_E(\ _E)$ [2].

В работе развит новый R4-метод (некогерентный) [3, 4], $_{R4} = f_{R4}(\ _{R4})$, где $_k$ измеряемые величины; f_k известные функции. В работе [3] представлены графики поведения аналитических (относительных) погрешностей $= (1/\ _k)\, df_k/d\ _k$ для указанных методик (без учёта статистических ошибок) в диапазоне экспериментально наблюдаемых значений $_k$. Показано, что $_E$ $_{R4}$ одного порядка ($_{R4} = 3/2$ $_E$) и существенно превосходят по точности измерения $_k$ по стандартной R2-методике $_{R2}$ [1].

В итоге, установлено, что достаточная аналитическая точность измерения $_k$ может быть достигнута и при использовании некогерентной аппаратуры с помощью новой методики R4. Однако за когерентной методикой остаётся преимущество возможности оптимизации и статистической ошибки за счёт цифровой обработки ИС.

1. Альперт Я. Л. Распространение радиоволн в ионосфере. М.: АН СССР. 1960. 480 с.
2. Миркотан С. Ф., Белов С. Ю., Захаров В. И. Дистанционная диагностика рассеивающей способности "шероховатой" земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 10. С. 1190–1194.
3. Миркотан С. Ф., Белов С. Ю. О параметре возмущённости неоднородной флуктуирующей ионосферной плазмы // Радиотехника и электроника. 1998. Т. 43. № 11. С. 1382–1384.
4. Белов С. Ю. Методы оценки параметра сигнал/шум в коротковолновом диапазоне радиоволн // Физические проблемы экологии (Экологическая физика). №16. Ред. В.И. Трухина, Ю.А. Пирогова, К.В. Показеева. М.: МАКС Пресс. 2010. С. 31–38.

On the signal/noise ratio of the measurement method of the inhomogeneous fluctuating diffraction screen

S.Yu. Belov[1] (Belov_Sergej@Mail.Ru), Iya N. Belova[2]
[1]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Vorobyevy Gory, 119991 Moscow, Russia*
[2]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*

The ionospheric echo (IE) signal/noise ratio $_k$ is of interest as the ionospheric plasma concentration measure of disturbance, as well as the communication (or diagnostic) channel characteristic. The paper presents the results of comparison of the measurement method from the point of view of their admissible relative analytical errors. The new method is suggested. The subscript k = E,R2,R4 indicates the primary parameter recorded (E – quadrature, R – envelope of the IE), and the method used (E – coherent; R2,R4 – noncoherent). The following methods are usually in use: 1) the standard R2-method, where $_{R2} = f_{R2}(\ _{R2})$ [1]; 2) the coherent E-method, $_E = f_E(\ _E)$ [2].

The paper presents the new R4-method, where $_{R4} = f_{R4}(\ _{R4})$ [3, 4]. Above $_k$ are the values measured and f_k are the known functions. The comparative analysis of the normalized relative analytical errors $= (1/\ _k)\, df_k/d\ _k$ of the known methods and the new one was performed [3]. It has shown that errors $_E$ and $_{R4}$ have the same order ($_{R4} = 3/2\ _E$) and both errors significantly exceed the error $_{R2}$ in comparison with standard R2-method [1] with measurement accuracy of $_k$.

As a result, it has been found that sufficient $_k$ analytical measurement accuracy can be achieved when using the noncoherent apparatus using the new R4-method. But the coherent E-method reserves the possibility of statistical error optimization with a special processing of the IE.

1. Alpert Ya. L. *Distribution of radio waves in an ionosphere*. M.: AS USSR. 1960. 480 pp. (in Russian)
2. Mirkotan S. F., Belov S. Yu., Zakharov V. I. Remote diagnostics of the disseminating ability of a "rough" terrestrial surface in the short-wave range of radio waves // *Radiotechnika and electronika*. 1999. V. 44. № 10. P. 1190–1194 (in Russian).
3. Mirkotan S. F., Belov S. Yu. About the parameter of a disturbance of the non-uniform fluctuating ionospheric plasma // *Radiotechnika and electronika*. 1998. V. 43. № 11. P. 1382–1384.
4. Belov S. Yu. Parameter assessment methods signal/noise in the short-wave range of radio waves // *Physical environmental problems* (Ecological physics) № 16. The collection of scientific works under the editorship of V. I. Trukhin, Yu. A. Pirogov, K. V. Pokazeev. M.: MAKSPress. 2010. P. 31–38.

Оперативное определение тропосферной задержки радиосигнала радиометрическими методами

Ильин Г.Н.[1] (igen@ipa.nw.ru), Миллер Е.А.[2], Троицкий А.В.[3]
[1]Институт прикладной астрономии РАН, *191187*, наб. Кутузова *10*, Санкт-Петербург, Россия
[2]Центральная Аэрологическая Обсерватория, ул. Первомайская *3*, *141700* Долгопрудный Моск. обл., Россия
[3]Научно-исследовательский радиофизический институт, Большая Печерская *25/12*а, *603950* Нижний Новгород, Россия

Разработан метод, алгоритм и радиометрический комплекс оперативного определения тропосферной задержки радиосигнала ГЛОНАСС на основе измерительных данных трёхканального микроволнового комплекса. Радиометрический метод определения рефракционных характеристик тропосферы основан на измерении собственного (теплового) излучения атмосферы в микроволновом диапазоне волн, спектр интенсивности которого полностью определяется основными метеопараметрами атмосферы: профилями температуры, влажности, давления и водностью облаков. Указанные метеопараметры определяются из радиометрических данных путём решения соответствующих обратных задач и используются для расчёта рефракции и тропосферной задержки радиосигнала.

Радиометрический комплекс дистанционного зондирования метеопараметров тропосферы состоит из трёх радиометрических приёмников микроволнового диапазона волн: $\nu_1 = 20.75$ ГГц – определение содержания водяного пара Q, $\nu_2 = 32$ ГГц – определение

содержания капельной воды W, $\nu_3 = 56.7$ ГГц – определение профиля температуры (программно модифицированный профайлер МТП-5). Определение тропосферной задержки радиосигнала $L_ф$ осуществляется по данным радиометрического определения интегральных характеристик тропосферы Q и W, либо дифференциальных (h), $T(h)$, $P(h)$. Радиохарактеристики атмосферы (излучение и поглощение) рассчитывались по моделям Каткова (НИРФИ) для водяного пара и Розенкранца для кислорода. Расчёт тропосферной задержки $L_ф$ осуществлялся по прямым рефракционным соотношениям связи метеопараметров тропосферы и высотным профилям коэффициента преломления. Точность определения тропосферной задержки радиосигнала обоими методами не превышает 3 мм в зенитном направлении.

Тестирование комплекса осуществлялось в два этапа. Первый – прямое сравнение радиометрических данных Q, W, $T(h)$ с данными радиозондирования. Второй – сравнение величины тропосферной задержки радиосигнала, вычисляемой по радиометрическим измерениям Q, W, $T(h)$, с данными навигационной системы GPS. Прямые сравнения проводились в марте 2015 г. в г. Долгопрудный, ЦАО. Точность восстановления (СКО) профиля $T(h)$ в интервале высот 0 1.2 км составила величину (0.2 1.2) С, а точность модельного оптимально экстраполированного профиля $T(h)$ на высотах 4 8 км (2.5 3.5) С, соответственно. Среднее значение разности радиометрических и радиозондовых данных определения Q составляли величину 0.05 г/см^2, что соответствует точности определения тропосферной влажностной компоненты задержки $\Delta L_ф = 3$ мм (точность радиозондового определения Q считается «абсолютной»). Сравнение вторым способом проводилось в обсерватории «Светлое» ИПА РАН, Ленинградской области в 2013 2015 годах. Среднее значение разности радиометрических и навигационных (система GPS) данных определения задержки радиосигнала $L_ф$ составила величину $\Delta L_ф$ 3 мм в зенитном направлении.

Operational definition of the radiosignal tropospheric delay by radiometric methods

Gennadii N. Ilin[1] (igen@ipa.nw.ru), Arkady V. Troitsky[2], Evgeny Al. Miller[3]
[1]*Institute of Applied Astronomy RAS, 10 Nab. Kutuzova, 191187 Saint-Petersburg., Russia*
[2]*Radiophysical Research Institute, 25/12а B. Pecherskaya, 603950 N. Novgorod, Russia*
[3]*Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny Moscow region, Russia*

Basing on measurement data of three-channel microwave radiometric complex, the method and algorithm of operational calculation of Tropospheric path delay (TPD) and Tropospheric wet delay (TWD) have been developed. Radiometric method for determining the refractive characteristics of the troposphere is based on measuring the thermal radiation from the atmosphere in the microwave bands; the spectrum of which is completely determined by the main meteorological parameters of the atmosphere: temperature profile, humidity, pressure and liquid water content of clouds. These meteorological parameters are determined from radiometric data by solving the corresponding inverse problems and are used for calculating the refractivity and TPD.

Radiometric complex for remote sensing of troposphere meteorological parameters consists of three microwave radiometric receivers operating at the frequencies:

$f_1 = 20.75$ GHz – it is used for determination of the water vapor content Q, g/cm^2;

$f_2 = 32$ GHz – it is used for determination of the liquid water content W, kg/m^2;

$f_3 = 56.7$ GHz – it is used for determination height temperature profiles.

First two receivers are combined in one device – classic water vapor radiometer (WVR) designed in Institute of applied astronomy RAS. The last receiver is so called software-modified temperature profiler MTP-5 (RPO ATTEX, www.attex.net). Calculation of TPD is performed according to the radiometric determination of the troposphere integral characteristics: Q and W, or differential $q(h)$, $T(h)$, $P(h)$. Radio characteristics of the atmosphere (emission and absorption) were calculated by Katkov's model (NIRFI) for the water vapor and Rosenkrantz's model for the oxygen. Calculation of the TWD was made by direct refractive relations of meteoparameters of the

troposphere and height profiles of the refractive index. Determination accuracy of tropospheric delay of radio signals using these two methods do not exceed 3 mm in the zenith direction.

Testing of the complex was carried out in two stages. The first – is a direct comparison of radiometric data *Q*, *W*, *T*(*h*) with radiosonde data. The second – is a comparison of the magnitude of the tropospheric delay of a radio signal calculated by radiometric measurements *Q*, *W*, *T*(*h*) with the data of the navigation system GPS. The comparisons were made on the site of the Central Aerological Observatory (Dolgoprudnyin, Mocow region) in March 2015. The accuracy (RMS) of the profile *T*(*h*) in the altitude range from zero to 1.2 km was varied from 0.2–1.2 C, and accuracy (RMS) of the model optimally extrapolated profile *T*(h) at heights from 4 km to 8 m ~ 2.5–3.5 C respectively. The average value of the difference between the radiometric and radiosonde data definition of *Q* is ~ 0.05 g/cm2, which corresponds to the accuracy of TWD determination ~ 3 mm (accuracy radiosonde definition of *Q* is considered to be "absolute"). Comparison by the second method was made in the observatory "Svetloe" IAA RAS, Leningrad region in 2013–2015. Mean difference between radiometric and navigation data (GPS system) of delay determination of radio signal (ΔL_f) was less than or equal to 3 mm in the zenith direction.

Сравнения наземных и спутниковых методов измерений интегрального влагосодержания атмосферы

Березин И.А. (vanchez100@ya.ru), Тимофеев Ю.М., Виролайнен Я.А. Поляков А.В., Поберовский А.В.

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

Водяной пар, являясь одним из основных климатообразующих газов, играет ключевую роль в целом ряде процессов на различных высотах земной атмосферы. Сопоставления разных методов измерения общего содержания водяного пара (ОСВП) и их взаимная калибровка имеют большое значение для определения истинной точности методов, а также для совместного использования данных из различных источников, создания архивов данных различных измерений и т.д. В СПбГУ (Петергоф, 59.88 с.ш., 29.82 в.д.) проводится программа сопоставлений локальных и дистанционных методов измерений ОСВП.

Приведены результаты сравнений различных дистанционных методов (МКВ метода по нисходящему тепловому излучению, ИК-спектросокопического метода по прямому солнечному излучению, БИК метода с аппаратурой CIMEL) с данными радиозондовых измерений (п. Воейково), а также между собой. Отличия между дистанционными (Петергоф) и радиозондовыми (Воейково) измерениями могут достигать десятков процентов из-за мезомасштабной пространственной неоднородности поля ОСВП. Показано, что МКВ измерения дают большие значения ОСВП, чем ИК измерения, причем это превышение достигает 8% при малых ОСВП. С ростом ОСВП это отличие уменьшается и составляет при ОСВП более 10 мм ~ 1%. Стандартные отклонения между двумя методами достигают 7% при значениях ОСВП менее 4 мм. С ростом ОСВП оно уменьшается и при ОСВП более 10 мм составляет 3–5%. Приведенные данные свидетельствуют о высоком качестве дистанционных измерений, при этом ИК измерения имеют преимущества по сравнению с МКВ измерениями (линия поглощения 1.35 см) при малых значениях ОСВП. Приведены результаты сопоставлений наземных измерений с данными ряда спутниковых приборов, использующих для измерений различные области спектра и методы измерений.

Экспериментальная часть исследований финансировалась грантом РФФИ (15-05-07524), обработка и анализ данных проведены за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00096).

Comparison of ground-based and space-borne methods of measurements of integral water content in the atmosphere

I.A. Berezin (vanchez100@ya.ru), Yu.M. Timofeyev, Ya.A. Virolainen, A.V. Polyakov, A.V. Poberovskii

St. Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, 198504 St. Petersburg-Petrodvorets, Russia

Water vapor is one of the basic climate-influencing gases and plays a key role in a number of processes at various altitudes of the atmosphere of the Earth. Intercomparison of different methods of measurements of the total water vapor content (TWVC) and their intercalibration are of great importance for accessing of true accuracy of methods and also for combining data from different sources, for creating archives of data of various measurements, etc. A program of the intercomparison of in-situ and remote measurements of TWVC is carried out at SPbSU (Petergof, 59.88 N, 29.82 E).

The results of the comparisons of different remote methods (MW method using downwelling thermal radiation, IR-spectroscopic method using direct sun radiation, NIR method with CIMEL instrument) with radiosounding data (Voeikovo) and with each other are presented. The discrepancies between remote (Petergof) and radiosounding (Voeikovo) measurements may reach dozens of percent due to mesoscale inhomogeneity of the TWVC field. It has been shown that MW measurements provide greater values of TWVC than IR measurements and this excess reaches 8% for small values of TWVC. With the increase of TWVC the difference becomes lower and constitutes ~ 1% when TWVC values are greater than 10 mm. Standard deviations between two methods reach 7% for TWVC lower than 4 mm. It decreases with the increase of TWVC and constitutes 3–5% for TWVC greater than 10 mm. Presented data indicate high quality of remote measurements, and IR measurements have advantages with respect to MW measurements (1.35 cm absorption line) for low TWVC values. The results are presented of the comparison of ground-based measurements with the data of a number of satellite instruments which use different spectral regions and measurement methods.

The experimental part of the investigations was financed by RFBR (grant No 15-05-07524), processing and analysis of data were financed by Russian Science Foundation (grant No 14-17-00096).

Наземные исследования оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в районе Санкт-Петербурга

Французова И.С.[1] (innaf007@gmail.com), Поберовский А.В.[1], Тимофеев Ю.М.[1], Juralevičiūt÷ O.[2], Holben B.N.[3], Smirnov A.[3], Slutsker I.[3]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

[2]*Vilniaus universitetas, Universiteto str. 3, LT - 01513 Vilnius, Lithuania*

[3]*NASA/Goddard, Space Flight Center, USA*

Атмосферный аэрозоль играет важную роль в различных атмосферных процессах, определяющих погоду и климат на нашей планете. Исследования его оптических и микрофизических характеристик осуществляется различными методами уже длительное время. Важную роль в этих исследованиях играет международная сеть наблюдений AERONET (прибор CIMEL) [1]. В докладе приведены новые данные об атмосферном аэрозоле (2013–2015 гг.), полученные наземными дистанционными методами с помощью измерений прямого и рассеянного солнечного излучения прибором CIMEL в Петергофе (59.82 с.ш., 29.88 в.д.) в 30 км от Санкт-Петербурга. Измерения проводились в период 2013–2015 гг.

Приведен анализ временных вариаций (дневные и сезонные зависимости, годовой ход) аэрозольной оптической толщины (АОТ) для различных длин волн, а также ряда микрофизических параметров аэрозоля. Представлены данные сравнения полученных

величин с результатами наземных измерений АОТ ближайших станций сети AERONET (Toravere, Helsinki, Helsinki Lighhouse и др.) и климатологическими данными.

Измерения осуществлялись на научном оборудовании Ресурсного центра СПбГУ «Геомодель». Экспериментальная часть исследований финансировалась грантом РФФИ (проект № 13-05-00956), обработка и анализ данных выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00096).

1. Holben B.N., T.I. Eck, I. Slutsker et al. AERONET-A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization // *Rem. Sens. Environment*. 1998. V. 66. № 1. P. 1–16.

Ground-based studies of the optical and microphysical aerosol characteristics near St. Petersburg

I.S. Frantsuzova[1] (innaf007@gmail.com), A.V. Poberovskii[1], Yu.M. Timofeyev[1], O. Juralevičiūt÷[2], B.N. Holben[3], A. Smirnov[3], I. Slutsker[3]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

[2]*Vilniaus universitetas, Universiteto str. 3, LT - 01513 Vilnius, Lithuania*

[3]*NASA/Goddard, Space Flight Center, USA*

Atmospheric aerosol plays an important role in various atmospheric processes that determine the weather and climate on our planet. For a long time study of optical and microphysical characteristics of aerosols were implemented in different ways. The important role in this study plays the international observation network AERONET (device CIMEL) [1].The report contains new data on atmospheric aerosol in Peterhof (59.82 N, 29.88 E), 30 km west of St. Petersburg, produced by ground-based remote sensing methods using measurements of direct and diffuse solar radiation by CIMEL. The measurements were performed in the period of 2013–2015.

The report also presents the analysis of temporal variations (the daily and seasonal dependences; the annual variation) of the aerosol optical thickness for different wavelengths, as well as a number of the microphysical parameters of aerosol. The comparison of the climatological data and data obtained from ground-based measurements at the nearest stations of the network AERONET (Toravere, Helsinki, Helsinki Lighhouse et al.) is also demonstrated in the report.

The study was carried out using equipment of Geo Environmental Research Center “Geomodel” of Saint-Petersburg State University and supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 13-05-00956 – experimental measurements) and Russian Science Foundation (project 14-17-00096 – the analysis and data processing).

1. Holben B.N., T.I. Eck, I. Slutsker et al. AERONET-A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization // *Rem. Sens. Environment*. 1998. V. 66. № 1. P. 1–16.

Сравнения измерений общего содержания водяного пара фотометром CIMEL с независимыми измерениями (МКВ, ИК и радиозонд)

Березин И.[1](vanchez100@ya.ru), Французова И.А.[1], Виролайнен Я.А.[1], Тимофеев Ю.М.[1], Поберовский А.В.[1], Holben B.N.[2], Smirnov A.[2], Slutsker I.[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

[2]*NASA/Goddard, Space Flight Center, USA*

Международная сеть наземных измерений оптических и микрофизических параметров атмосферного аэрозоля АЭРОНЕТ включает несколько сотен пунктов наблюдений на различных континентах земного шара. В России имеется не менее девяти таких пунктов. Кроме характеристик аэрозолей на сети АЭРОНЕТ с помощью фотометра CIMEL измеряется интегральное влагосодержание атмосферы (ИВА). Эти данные получаются с помощью анализа измерений прямого солнечного излучения в полосе поглощения водяного пара при 940 нм. Для различных использований этих данных при решении задач физики атмосферы и метеорологии требуется знание погрешностей этих измерений. Эти погрешности зависят от многих факторов, и их анализ для различных условий измерений и различных приборов

(например, различных значений ИВА, сезонов, высот измерений и т.д.) представляет значительный интерес.

В данном докладе для условий пригорода Санкт-Петербурга (Петергоф, 59.88 с.ш., 29.82 в.д.) анализируются одновременные измерения ИВП фотометром CIMEL CE 318N-EDPS9, МКВ радиометром RPG-HATPRO, ИК Фурье-спектрометром Bruker IFS-125HR, а также данные радиозондирования (станция Воейково). Совместный анализ практически одновременных различных дистанционных измерений позволяет оценить качество измерений фотометра CIMEL. Прибор CIMEL существенно занижает ИВА по сравнению с МКВ и ИК измерениями. Это занижение особенно значительно при малых величинах ИВА (менее 4 мм) и достигает ~ 22%. С ростом ИВА эти относительные рассогласования, как правило, уменьшаются. Для всего ансамбля сопоставлений средние рассогласования составляют ~ 12.2% и 1.56 мм. Среднеквадратические рассогласования составляют ~ 11–15% и 1.1–1.5 мм, соответственно. Стандартные отклонения находятся в диапазоне 5–10%.

Экспериментальная часть исследований финансировалась грантом РФФИ (проект № 15-05-07524), обработка и анализ данных – грантом Российского научного фонда (проект № 14-17-00096).

Comparison of water vapor column amount measurements by CIMEL photometer with independent measurements (MW, IR and radiosounding)

I. Berezin[1](vanchez100@ya.ru), I.A. Frantsuzova[1], Ya.A. Virolainen[1], Yu.M. Timofeyev[1], A.V. Poberovskii[1], B.N. Holben[2], A. Smirnov, I. Slutsker[2]

[1]*Saint-Petersburg State University, Faculty of Physics, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

[2]*NASA/Goddard, Space Flight Center, USA*

The international network of ground-based measurements of optical and microphysical parameters of atmospheric aerosol AERONET includes several hundred observational sites on different continents of the globe. Not less than nine of such sites are located in Russia. Besides aerosol characteristics, the integral humidity of the atmosphere (IHA) is measured at the AERONET network by means of CIMEL photometer. These data are obtained from analysis of direct sun radiation measurements in the water vapor absorption band at 940 nm. For different applications of these data while solving problems of atmospheric physics and meteorology, the knowledge of the errors of these measurements is necessary. These errors depend on many factors and their analysis for different measurement conditions and different instruments (for example various IHA values, seasons, altitudes of measurements) is of great interest.

The present report contains the analysis of simultaneous measurements of IHA by CIMEL CE 318N-EDPS9 photometer, MW radiometer RPG-HATPRO, IR Fourier-spectrometer Bruker IFS-125HR for the conditions of suburbs of St.Petersburg (Petergof, 59.88 N, 29.82 E), and also radiosounding data (Voeikovo station). Joint analysis of practically simultaneous different remote measurements allows assessing the quality of measurements by CIMEL. CIMEL instrument gives considerably lower IHA values with respect to MW and IR measurements. This underestimation is especially considerable for low values of IHA (lower than 4 mm) and reaches ~ 22%. When IHA increases these relative discrepancies usually decrease. For the entire ensemble of comparisons, mean discrepancies constitute ~ 12.2% and 1.56 mm. Root mean square discrepancies constitute ~11–15% and 1.1–1.5 mm correspondingly. Standard deviations are in the range of 5–10%.

The experimental part of the investigations was financed by RFBR (grant No 15-05-07524), processing and analysis of data were financed by Russian Science Foundation (grant No 14-17-00096).

МКВ зондирование метеопараметров тропосферы с помощью радиометра **RPG-HATPRO**

Зайцев Н.А., Косцов В.С., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В., Бирюков Е.Ю.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская ул. *1, 198504* Санкт-Петербург, Россия

В работе авторов [1] было показано, что температурное наземное микроволновое (МКВ) зондирование тропосферы с помощью 14 канального радиометра RPG-HATPRO [2], функционирующего в Санкт-Петербургском государственном университете, позволяет получить оперативную информацию до высот 3–4 км, если для обработки данных используется алгоритм изготовителя аппаратуры. На высотах более 4 км погрешности дистанционных измерений становятся больше естественных вариаций температуры и достигают 6–8 К. Влажностное наземное микроволновое зондирование с помощью радиометра RPG-HATPRO позволяет получить оперативную информацию до высоты 2 км, если для обработки данных используется алгоритм изготовителя аппаратуры. На высотах более 2 км погрешности дистанционных измерений становятся больше естественных вариаций относительной влажности и достигают 40 %.

В связи с этим для более полного использования потенциальных возможностей аппаратуры RPG-HATPRO на основе одновременных радиозондовых измерений метеопараметров и МКВ измерений нисходящего излучения был создан специализированный регрессионный алгоритм. Преимущества данного алгоритма по сравнению с алгоритмом разработчика аппаратуры заключаются в том, что не используются модельные расчеты, а сам обратный оператор методики может периодически уточняться. В докладе анализируется точность температурно-влажностного зондирования тропосферы при использовании годовой и сезонной статистики в регрессионной методике. Сравнивается точность зондирования при использовании спектральных и спектрально-угловых измерений нисходящего МКВ теплового излучения. Также в докладе приведен сравнительный анализ восстановленных значений общего влагосодержания атмосферы и водности облаков.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00096).

1. Зайцев Н.А., Тимофеев Ю.М., Косцов В.С. Сравнение радиозондовых и наземных дистанционных микроволновых измерений профилей температуры в тропосфере // Опт. атм. океана. 2014. Т. 27. № 05. С. 392–398.
2. Интернет-ресурс 2. Radiometer Physics GmbH. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.radiometer-physics.de/rpg/html/Home.html свободный.

MW sounding of meteoparameters of the troposphere by means of RPG-HATPRO radiometer

N.A. Zaitsev, V.S. Kostsov, Yu.M. Timofeyev, A.V. Poberovskii, E. Biryukov
Saint-Petersburg State University, Faculty of Physics, 1 Ulyanovskaya st., 198504 Saint-Petersburg, Russia

It has been shown in the paper [1] that ground-based microwave (MW) temperature sounding of the troposphere by means of 14-channel radiometer RPG-HATPRO [2] functioning at St.Petersburg State University gives the possibility to obtain real-time information up to 3-4 km altitude if the data processing algorithm provided by the manufacturer of the instrument is used. At altitudes above 4 km the errors of remote measurements become larger than the temperature natural variations and reach 6-8 K. Ground-based microwave remote sensing of humidity by means of RPG-HATPRO radiometer gives the possibility to obtain real-time information up to 2 km altitude, if the manufacturer’s algorithm is used. Above 2 km altitude the errors of remote measurements become larger than natural variations of relative humidity and reach 40%.

Therefore, in order to use all potential capabilities of the RPG-HATPRO instrument, specialized regression algorithm has been developed on the basis of simultaneous radiosonde measurements of meteoparameters and MW measurements of downwelling radiation. The advantages of the algorithm with respect to manufacturer’s algorithm consist in no necessity to use

model calculations and in the possibility to improve periodically the inverse operator of the method. The present report contains the analysis of the accuracy of temperature-humidity sounding of the troposphere for the cases of utilization of annual and seasonal statistics. The accuracy of soundings using spectral and spectral-angular measurements of downwelling MW thermal radiation is compared. Also, the comparative analysis of the retrieved values of water vapor column amount and cloud liquid water is presented.

The study is supported by Russian Science Foundation (grant No 14-17-00096)/

1. Zaitsev N.A., Yu.M. Timofeyev, V.S. Kostsov. Comparison of radio sounding and ground-based remote measurements of temperature profiles in the troposphere // Atm. Oceanic Opt. 2014. V. 27, № 5. P. 386–392.
2. Internet-resource. Radiometer Physics GmbH. [Electronic resource] / Access: http://www.radiometer-physics.de/rpg/html/Home.html free.

Химический состав аэрозоля в тропосфере фоновых районов юга западной Сибири в периоды проведения комплексных атмосферных радиационных экспериментов ИОА СО РАН в **2011–2013** гг.

Антохина О.Ю., Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Симоненков Д.В. (simon@iao.ru), Толмачев Г.Н.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, *634021* Томск, Россия

Комплексные атмосферные радиационные эксперименты, в ходе которых измерялся точный состав земной атмосферы и тепловой баланс в системе «Солнце-атмосфера-Земля» с помощью одновременно приборов сети наземных станций и с борта самолета-лаборатории, были в России впервые выполнены силами сотрудников всех отделений Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в 2011–2013 гг. В самолетном этапе комплексного эксперимента (СМЛ «Оптик» на базе Ту-134) измерялись концентрации в атмосфере парниковых газов – углекислоты, озона, метана, водяного пара, – а также различные свойства и параметры аэрозольных частиц и сажи над лесными массивами Новосибирской и Томской областей. Все лётные эксперименты проводились на одних и тех же маршрутах в Томской и Новосибирской областях. Временная продолжительность каждого из полетов составляла около 3-х часов в малооблачных условиях (наблюдались облака хорошей погоды Cu Hu). Отбор проб на обоих маршрутах производился на фильтры Петрянова АФА-ХП-20 на высотах и в слоях 7000–5500, 4000–3000, 2000–1500 и 1000–500 м. Анализ отобранных на фильтры проб аэрозоля производился в Лаборатории мониторинга окружающей среды ТГУ на наличие элементов и ионов: Al, Ba, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Ti, V, Be, Cd, Si, Co, Cr, Sr, Zn, Zr, Na+, K+, NO^{3-}, Cl^{-}, SO_4^{2-}.

Анализ вертикальных профилей концентраций элементов в первых экспериментах показал наличие элементов с высокой степенью корреляции их содержания по высоте на каждом из маршрутов и в то же время полное отсутствие корреляции между одноименными элементами на Томском и Ордынском маршрутах. Особенностью полётов 2013 г. в отличие от экспериментов 2011–2012 гг. являются небольшие различия концентраций аэрозольно-химических компонентов между Томским и Ордынским маршрутами. Обсуждаются существенные различия в средних значениях концентраций и вертикальных распределениях химических компонентов аэрозоля. Различием подстилающей поверхности и наличием антропогенных источников на пути следования воздушных частиц можно объяснить различия в концентрациях элементов и ионов

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН №18, программы ОНЗ РАН №5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН №35, №70 и №131, грантов РФФИ № 14-05-00526, №14-05-00590, №14-05-93108. госконтрактов Минобрнауки №14.604.21.0100, идентификационный номер RFMTFIBBB210290, №14.613.21.0013, идентификационный номер RFMEFI61314X0013.

Chemical composition of atmospheric aerosols over background areas of the southern part of Western Siberia observed during the IAO SB RAS complex atmospheric radiation experiments carried out in 2011–2013

O.Yu. Antokhina, B.D. Belan, T.M. Rasskazchikova, D.V. Simonenkov (simon@iao.ru), G.N. Tolmachev

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia

Complex atmospheric radiation experiments that measure the exact composition of the Earth's atmosphere and the heat balance in the "the Sun-Earth-atmosphere" system with the help of devices of ground stations network and from the aircraft-laboratory at the same time were performed in Russia by the staff of all departments of the V.E.Zuev Institute of atmospheric Optics SB RAS in 2011–2013. Atmospheric concentrations of greenhouse gases – carbon dioxide, ozone, methane, water vapor, – and various properties and parameters of aerosol particles and soot over the forests of Novosibirsk and Tomsk regions were measured by the "Optik" aircraft-laboratory based on the Tupolev-134. Annual flight experiments were conducted on the same route over background areas of Tomsk and Novosibirsk regions. Time duration of each flight was about 3 hours. Sampling was carried out on both routes onto Petryanov's filters AFA-HP-20 in the following tropospheric layers 7000–5500, 4000–3000, 2000–1500 and 1000–500 m. Physico-chemical techniques of quantitative analysis are used to analyze the chemical composition of the aerosol (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Ti, Cu, Mn, Cr, Ag, Pb, Ni, Ba, Sn, V, Mo, Co, B, Be, K^+, Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, Br^-, F^-, NH_4^+).

Analysis of the vertical elemental concentration profiles for first experiments showed the presence of elements with a high degree of correlation adjustment of their content in each of the routes and at the same time a complete lack of correlation between the same elements at Tomsk and Ordynskiy routes. Features of the results obtained in last experiments are small differences in concentrations of aerosol chemical components on the Tomsk and Ordynskiy routes. The significant differences in the mean values of concentrations and vertical distribution of aerosol chemical components are discussed. The difference between the underlying surface and the presence of anthropogenic sources on the path of air particles can be explained by differences in the concentrations of elements and ions.

This work was supported by Presidium of the Russian Academy of Sciences (Program No. 18), the Branch of Geology, Geophysics and Mining Sciences of RAS (Program No. 5); interdisciplinary integration projects of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science No. 35, No. 70 and No. 131; State contracts of the Ministry of Education and Science of Russia No. 14.604.21.0100 (RFMTFIBBB210290) and No. 14.613.21.0013 (RFMEFI61314X0013); and Russian Foundation for Basic Research (grants No. 14-05-00526, No. 14-05-00590, No. 14-05-93108).

Сравнения экспериментальных и расчетных воздушных масс: DOAS-метод определения общего содержания озона

Шварева С.Д., Виролайнен Я.А. (yana.virolainen@spbu.ru), Ионов Д.В., Тимофеев Ю.М.

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

В наземном методе DOAS измерений общего содержания озона (ОСО) используются расчетные воздушные массы (ВМ), позволяющие из измерений наклонных содержаний ОСО получать его вертикальное содержание. Как правило, эти значения ВМ получаются на основе использования различных радиационных кодов и зависят (для данного пункта наблюдений) только от зенитного угла Солнца.

Для проверки этого упрощения для наблюдений ОСО в Петергофе (59.88 с.ш., 29.82 в.д) были проведены экспериментальные определения ВМ. Для этого использовались высокоточные измерения ОСО с помощью измерений и интерпретации спектров прямого солнечного ИК излучения высокого спектрального разрешения (Фурье-спектрометер Bruker

IFS-125HR). В работе проанализированы сравнения расчетных и экспериментальных воздушных масс озона.

Экспериментальные исследования проведены на аппаратуре РЦ «Геомодель» СПбГУ при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-05-00897. Обработка и анализ данных выполнены за счет финансирования по гранту Российского научного фонда №14-17-00096.

Comparison of calculated and experimental air mass factors in DOAS ozone measurements

S.D. Shvareva, Y.A. Virolainen (yana.virolainen@spbu.ru), D.V. Ionov, Yu.M. Timofeyev
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

Calculated air mass factor is commonly used in ground-based DOAS ozone measurements for the conversion of slant path ozone content to its vertical column. Usually, calculated air mass factors depend only on the solar zenith angle but not on atmospheric model for the certain measurement site.

To verify this simplification, we determined the experimental air mass factor for Peterhof site (59.88° N, 29.83° E, 20 m a.s.l.) by using DOAS slant column ozone measurements and Bruker IFS-125HR vertical column ozone (direct Sun IR radiation) measurements. In this study, we analyze the difference between calculated and measured air mass factors.

The study was carried out using equipment of the Geo Environmental Research Center “Geomodel” of Saint-Petersburg State University, and supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 14-05-00897 – experimental studies) and Russian Science Foundation (project 14-17-00096 – the processing and analysis of data).

МКВ измерения временных вариаций водозапаса облаков в Петергофе

Бирюков Е.Ю., Зайцев Н.А. (xxxnike@rambler.ru), Тимофеев Ю.М.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Облака играют определяющую роль в формировании климата нашей планеты. Исследования их различных характеристик (высоты, толщины, водозапаса, функций распределения облачных частиц по размерам, фазового состояния и т.д.) осуществляются уже длительное время с помощью локальных и дистанционных (наземных и спутниковых) методов. С 2010 года измерения водозапаса облаков с помощью МКВ радиометра RPG-HATPRO осуществляются в СПбГУ (Петергоф, 59.88 N, 29.83 E). В докладе приведен анализ временных вариаций водозапаса облаков по данным измерений в 2010–2015 гг. Анализируются дневные, месячные. сезонные и годовые вариации. Приведены основные статистические характеристики водозапаса облаков для различного временного усреднения. Данные измерений сопоставлены с различными климатологическими архивами.

Экспериментальные исследования проведены на аппаратуре РЦ «Геомодель» СПбГУ при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда №14-17-00096.

RPG-HATPRO measurements of the variability of cloud liquid water contents at Peterhof

E.Yu. Biryukov, N.A. Zaitsev, Yu.M. Timofeyev
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

Clouds play the defining role in the formation of climate of our planet. Studies of their various characteristics (height, thickness, a liquid water content, size distribution functions, a phase state, etc.) have been carried out already long time using local and remote (ground-based and satellite) methods. Since 2010 measurements of cloud liquid water contents by the microwave RPG

HATPRO radiometer have been carried out in St. Petersburg State University (Peterhof, 59.88 N, 29.83 E). The analysis of temporal variability of cloud liquid water contents according to the measurements in 2010–2015 is provided in the report. Daily, monthly, seasonal and annual variations are analyzed. The main statistical characteristics of cloud liquid water contents are given at various temporary averaging. Measurements are compared with data of different climatological archives.

The study was carried out using equipment of the Geo Environmental Research Center “Geomodel” of Saint-Petersburg State University, and supported by the Russian Science Foundation (project 14-17-00096).

Строгие аналитические представления функций Грина скалярного уравнения переноса излучения и эффективные алгоритмы их отыскания для произвольной фазовой функции

Роговцов Н.Н. (rogovtsov@bntu.by)
Белорусский национальный технический университет, пр-т Независимости *65, 220013* Минск, Беларусь

Фазовая функция $\mathbf{p}(u)$ может значительно изменять свои значения на отрезке [–1,1] (переменная u имеет смысл косинуса угла между направлениями падающего и рассеянного излучений). Например, для многих геофизических дисперсных сред фазовая функция изменяет свои значения на несколько порядков (в десятичной системе исчисления) и принимает наибольшие значения в весьма «небольшой» левосторонней окрестности точки $u = 1$. Для корректной аппроксимации таких фазовых функций зачастую необходимо учитывать сотни или тысячи слагаемых в частичных суммах их разложений в ряды Фурье по полиномам Лежандра. Этот факт создает значительные проблемы при построении корректных методов решения краевых задач (BVPs) для скалярного уравнения переноса излучения (SRTE). Тем не менее, указанные выше разложения используются в скалярной теории переноса излучения (SRTT) в силу того, что они позволяют произвести полное или частичное разделение угловых переменных при решении BVPs для SRTE. Уже более полувека в SRTT разрабатываются различные приближенные аналитические и численные методы решения таких BVPs, когда график фазовой функции $\mathbf{p}(u)$ имеет острые «пики» на отрезке [–1,1]. Обзор и анализ точности некоторых из этих методов был выполнен в статье [1]. В SRTT был получен ряд формально точных решений приведенных характеристических уравнений SRTT (см., в частности, работы [2, 3]). На основе этих решений, в принципе, возможно найти формально строгие выражения для азимутальных гармоник функции Грина SRTE для случая бесконечной плоскопараллельной дисперсной среды и фазовой функции, которая удовлетворяет условию Гельдера на отрезке [–1,1]. Однако, методы, использованные в [1–3], не позволили создать эффективные математически обоснованные алгоритмы отыскания решений BVPs для SRTE для ситуаций, когда на фазовую функцию не накладываются какие-либо существенные ограничения.

В данном докладе будет описан подход, с помощью которого можно найти строгие аналитические представления функций Грина SRTE для случая произвольной фазовой функции, удовлетворяющей на отрезке [–1,1] условию Гельдера. При этом такие представления будут получены для ситуаций, когда дисперсная среда является бесконечной и содержит точечный изотропный или точечный мононаправленный источники излучения. Данные представления можно эффективно использовать для нахождения численных значений таких функций Грина даже тогда, когда для корректной аппроксимации фазовой функции надо брать не менее 2000 членов в частичных суммах ее разложения в ряд Фурье по полиномам Лежандра. В основу указанного выше подхода были положены метод редукции общих соотношений инвариантности (GIRRM) [4, 5] и математически обоснованный эффективный новый алгоритм (он подробно изложен в работах [6, 7]) отыскания функции Грина SRTE для случая бесконечной плоскопараллельной дисперсной среды, содержащей плоский мононаправленный источник излучения.

1. Rozanov,V.V. and Lyapustin,A.I. Similarity of Radiative Transfer Equation: Error Analysis of Phase Function Truncation Techniques. J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 12–13. P. 1964–1979.
2. Germogenova, T.A. and Shulaya, D.A. The Characteristic Equation of Radiation Transfer Theory. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*. 1976. V. 231. № 4. P. 841–844 (in Russian).
3. Germogenova T.A. On the Completeness of System of Eigenfunctions of Characteristic Equation of Transport Theory. *Preprint Inst. Appl. Math.* Moscow. 1976. № 103.
4. Rogovtsov N.N. *Svoistva i printsipy invariantnosti. Prilozhenie k rheniyu zadach matematicheskoi fiziki (Properties and Principles of Invariance). Application to Solution of Problems of Mathematical Physics*). Minsk. 1999. Part 1.
5. Rogovtsov N.N. General Invariance Relations Reduction Method and Its Applications to Radiative Transfer Problems for Turbid Media of Various Configurations. In Light Scattering Reviews, Kokhanovsky A.A.(ed.) Chichester. 2010. V. 5. P. 249–327.
6. Rogovtsov N.N. Constructive Theory of Scalar Characteristic Equations of the Theory of Radiation Transport: I. Basic Assertions of the Theory and Conditions for the Applicability of the Truncation Method. *Differential Equations.* 2015. V. 51. № 2. P. 1–14.
7. Rogovtsov N.N. Constructive Theory of Scalar Characteristic Equations of the Theory of Radiation Transport: Algorithms for Obtaining of Solutions and Analytical representations. *Differential Equations.* 2015. V. 51. № 5.

Rigorous analytical representations of Green functions for scalar radiative transfer equation and effective algorithms of its finding for an arbitrary phase function

N.N. Rogovtsov (rogovtsov@bntu.by)
Belarusian National Technical University, 65 Nezavisimosty ave., 220013 Minsk, Belarus

The phase function $\mathbf{p}(u)$ can dramatically change its values in the interval [–1,1] (variable u is the cosine of the angle between the directions of the incident and scattered radiation). For example, for many geophysic turbid media the phase function changes its value by several orders of magnitude (in decimal), and has the largest value in a very "small" left-sided neighborhood of $u = 1$. For correct approximation of the phase functions it is often necessary to take into account the hundreds or thousands of terms in the partial sums of Fourier series expansions in Legendre polynomials. This fact creates significant problems in the construction of correct methods for solving boundary value problems (BVPs) for the scalar radiative transfer equation (SRTE). Nevertheless, the above expansions are used in the scalar theory of radiative transfer (SRTT) as they allow one to perform a full or partial separation of the angular variables in solving BVPs for SRTE. For more than half a century various approximate analytical and numerical methods for solving such BVPs, when the graph of the phase function $\mathbf{p}(u)$ has sharp "peaks" in the interval [–1,1], have been developed in the SRTT. A review and analysis of the accuracy of some of these methods were carried out in [1]. A number of exact solutions of characteristic equations SRTT (see., in particular, in [2, 3]) was formally received in SRTT. On the basis of these solutions, in the principle, one can find formally rigorous expressions for the Green functions of azimuthal harmonics SRTE in the case of an infinite plane-parallel turbid medium and the phase function, which satisfies a Holder condition on the interval [–1,1]. Howewer, the methods used in [1–3] did not allow to develop effective mathematically substantiated algorithms for obtaning solutions BVPs for situations where any significant limitations did not impose on phase function.

An approach that allows one to obtain a rigorous analytical representations of the Green functions of SRTE for an arbitrary phase function, satisfying on [–1,1] Holder condition, is presented in this report. In addition, these representations are obtained for situations where the turbid medium is infinite and contains a point isotropic or monodirectional radiation sources. These representations can be used effectively to find the numerical values of the Green functions even when the correct approximation for the phase function contains at least 2000 members in the partial sums of its Fourier series in Legendre polynomials. The general invariance relations reduction method (GIRRM) [4, 5] and mathematically grounded efficient new algorithm (it is described in detail in [6,7]) for obtaining the Green function of SRTE for the case of an infinite plane-parallel

turbid medium containing a plane mono-directional source of radiation are the basis of the above-mentioned approach.

1. Rozanov,V.V. and Lyapustin,A.I. Similarity of Radiative Transfer Equation: Error Analysis of Phase Function Truncation Techniques. J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 12–13. P. 1964–1979.
2. Germogenova, T.A. and Shulaya, D.A. The Characteristic Equation of Radiation Transfer Theory. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*. 1976. V. 231. № 4. P. 841–844 (in Russian).
3. Germogenova T.A. On the Completeness of System of Eigenfunctions of Characteristic Equation of Transport Theory. *Preprint Inst. Appl. Math.* Moscow. 1976. № 103.
4. Rogovtsov N.N. *Svoistva i printsipy invariantnosti. Prilozhenie k rheniyu zadach matematicheskoi fiziki (Properties and Principles of Invariance). Application to Solution of Problems of Mathematical Physics*). Minsk. 1999. Part 1.
5. Rogovtsov N.N. General Invariance Relations Reduction Method and Its Applications to Radiative Transfer Problems for Turbid Media of Various Configurations. In Light Scattering Reviews, Kokhanovsky A.A.(ed.) Chichester. 2010. V. 5. P. 249–327.
6. Rogovtsov N.N. Constructive Theory of Scalar Characteristic Equations of the Theory of Radiation Transport: I. Basic Assertions of the Theory and Conditions for the Applicability of the Truncation Method. *Differential Equations.* 2015. V. 51. № 2. P. 1–14.
7. Rogovtsov N.N. Constructive Theory of Scalar Characteristic Equations of the Theory of Radiation Transport: Algorithms for Obtaining of Solutions and Analytical representations. *Differential Equations.* 2015. V. 51. № 5.

Методика восстановления свойств атмосферного аэрозоля по данным гиперспектрального зондирования

Николаева О.В.[1] (nika@kiam.ru), Чебыкин А.Г.[1], Басс Л.П.[1], Пластинин Ю.А.[2], Ризванов А.А.[2], Баула Г.Г.[2], Хмелинин Б.А.[2]

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

[2]ЦНИИМАШ, Пионерская ул. *4, 141070* Королёв, Россия

Представлен алгоритм определения оптических свойств аэрозоля (оптической толщины, альбедо однократного рассеяния) по значениям коэффициента яркости отраженного солнечного света, измеренным со спутника в видимой области спектра. Алгоритм опирается на модельный коэффициент яркости в виде дробно-полиномиальной функции следующих параметров: аэрозольная и рэлеевская оптические толщины, альбедо однократного рассеяния аэрозоля, косинус зенитного угла солнца, альбедо отражения земной поверхности. Предварительно определяется тип подстилающей поверхности (растительность, море, горная порода и т.д.); для этого используются значения коэффициента яркости во всем спектральном диапазоне, в том числе инфракрасном. Далее значения параметров аэрозоля находятся из двух условий: 1) минимум отклонения модельного и измеренного коэффициентов яркости; 2) ограниченное отклонение альбедо отражения от характерного альбедо для поверхности рассматриваемого типа.

Приведены оценки точности алгоритма восстановления на модельных задачах.

The technique to atmospheric aerosol parameters via the remote sensing data

O.V. Nikolaeva[1] (nika@kiam.ru), A.G. Chebykin[1], L.P. Bass[1], Yu.A. Plastinin[2], A.A. Rizvanov[2], G.G. Baula[2], B.A. Khmelinin[2]

[1]*Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia*

2TSNIIMASH, 4 Pionerskya str., 141070 Korolev, Russia

The algorithm for aerosol parameters retrieval via the reflectance factor for visible wavelengths is presented. The optical depth and single scattering albedo are under consideration. The algorithm is based upon the Pade-approximation of the model reflectance factor depending on the following parameters: the Rayleigh and aerosol optical depths, the aerosol single scattering albedo, the cosine of the zenith angle of the sun, the albedo of the surface. Preliminary the type of the surface is defined via the reflectance factor in whole spectral range including the IR region.

Further the aerosol parameters are found via two conditions: 1) the minimal residual of the model and measured reflectance factors is reached; 2) the albedo of the surface lies in the vicinity of the characteristic albedo corresponding to the surface of the type being considered.

Errors of the retrieved parameters are estimated.

Моделирование атмосферного переноса солнечного излучения в ближнем ИК диапазоне с различными спектроскопическими банками параметров линий поглощения парниковых газов

Чеснокова Т.Ю.[1] (ches@iao.ru), Ченцов А.В.[1], Рокотян Н.В.[2], Захаров В.И.[2]
[1]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, *634021* Томск, Россия
[2]Уральский федеральный университет им. Б.Н.Ельцина, пр. Ленина *51, 620000* Екатеринбург, Россия

Для повышения точности определения содержания парниковых газов в атмосфере спектроскопическими методами необходимо проводить регулярный анализ спектроскопической информации в современных банках параметров линий поглощения атмосферных газов. В атмосферных расчетах наиболее часто используются спектроскопические базы данных HITRAN [https://www.cfa.harvard.edu/hitran/] и GEISA [http://www.pole-ether.fr], данные в которых периодически обновляются. Кроме того, в 2015 г. появились новые версии банков линий поглощения CH_4 GOSAT2014 [1] и CO_2 CDSD [2].

В нашей работе исследуется влияние различия в спектроскопических банках данных на результаты моделирования атмосферного радиационного переноса в полосах поглощения в ближнем ИК диапазоне, которые используются для определения содержания основных парниковых газов в атмосфере. Показано, что различия в спектрах пропускания, вычисленных с параметрами линий поглощения CH_4 из HITRAN2008, HITRAN2012, GEISA2011 и GOSAT2014 могут достигать 0.03 и более.

Сделано сравнение модельных спектров с атмосферными солнечными спектрами, измеренными на наземном Фурье-спектрометре. Значения атмосферного содержания CH_4, восстановленные из измеренных спектров с применением двух версий спектроскопической базы данных HITRAN2008 и HITRAN2012, отличаются почти на 2%. Данные по содержанию CH_4, полученные с использованием банка параметров линий CH_4 GOSAT2014, близки по значениям к данным с HITRAN2008. По сравнению с метаном в результатах определения содержания CO_2 наблюдается меньшее различие между данными, восстановленными с разными спектроскопическими банками параметров линий поглощения CO_2. Расхождение не превышает 0.6% [3].

1. Nikitin A.V., Lyulin O.M., Mikhailenko S.N. et al. GOSAT-2014 methane spectral line list // *JQSRT*. 2015. V. 154. P. 63–71.
2. Tashkun S.A., Perevalov V.I., Gamache R.R., Lamouroux J. CDSD-296, high resolution carbon dioxide spectroscopic databank: Version for atmospheric applications // *JQSRT*. 2015. V. 152. P. 45–73.
3. Чеснокова Т.Ю., Ченцов А.В., Рокотян Н.В., Захаров В.И.. Определение содержания парниковых газов из атмосферных спектров солнечного излучения с использованием различных спектроскопических данных по линиям поглощения //Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 5.

Simulation of the atmospheric transfer of the solar radiation in the near-infrared region with the use of different spectroscopic databanks of absorption line parameters of greenhouse gases

T.Yu. Chesnokova[1] (ches@iao.ru), A.V. Chentsov[1], N.V. Rokotyan[2], V.I. Zakharov[2]
[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*
2Ural Federal University, 51 pr. Lenina, 620000 Ekaterinburg, Russia

To increase an accuracy of the atmospheric greenhouse gases content retrieval by spectroscopic methods, the analysis of spectroscopic information in the modern databanks of absorption line parameters of the atmospheric gases is required. The HITRAN [https://www.cfa.harvard.edu/hitran/] and GEISA [http://www.pole-ether.fr] spectroscopic

databases are regularly updated and mostly used in the atmospheric simulations. Furthermore, new versions of absorption line parameters databanks GOSAT2014 [1] for CH_4 and CDSD [2] for CO_2 are published in 2015.

We investigate an influence of discrepancy in the spectroscopic databanks on results of the atmospheric radiative transfer simulation in the near-infrared absorption bands, which are used for retrievals of the atmospheric total content of greenhouse gases. It is shown that the difference in atmospheric transmission spectra, calculated with the CH_4 absorption line parameters from HITRAN2008, HITRAN2012, GEISA2011, and GOSAT2014 can reach 0.03 and more.

A comparison of the simulated spectra with the atmospheric solar spectra measured by a Fourier transform spectrometer in Kourovka observatory is made. The values of the CH_4 atmospheric total content, retrieved with the use of two versions of the spectroscopic database HITRAN2008 and HITRAN2012 differ up to 2%. The CH_4 atmospheric total content data, obtained with use of the CH_4 line parameters databank GOSAT2014, are close to the data, retrieved with the HITRAN2008. As compared with CH_4, a smaller discrepancy is observed between data, retrieved with different spectroscopic databanks of CO_2 absorption line parameters. The difference does not exceed 0.6% [3].

1. Nikitin A.V., Lyulin O.M., Mikhailenko S.N. et al. GOSAT-2014 methane spectral line list // *JQSRT*. 2015. V. 154. P. 63–71.
2. Tashkun S.A., Perevalov V.I., Gamache R.R., Lamouroux J. CDSD-296, high resolution carbon dioxide spectroscopic databank: Version for atmospheric applications // *JQSRT*. 2015. V. 152. P. 45–73.
3. Chesnokova T.Yu., Chentsov A.V., Rokotyan N.V., Zakharov V.I. Retrievals of greenhouse gases content from the atmospheric spectra of solar radiation with the use of different spectroscopic data of absorption lines // Atm. Oceanic Opt. 2015. V. 28. № 5.

Статистическое моделирование рассеяния лазерных импульсов в облачном слое

Пригарин С.М. (sergeim.prigarin@gmail.com)

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

Новосибирский госуниверситет, ул. Пирогова *2, 630090* Новосибирск, Россия

Работа посвящена исследованию методом Монте-Карло особенностей рассеяния лазерных импульсов в облачном слое. В частности, изучаются условия, при которых эхо-сигналы широкоугольных CCD-лидаров представляют собой расширяющиеся светящиеся кольца и диски. Исследуются свойства пространственно-временного поля яркости, порожденного рассеянием лазерного импульса в облачной среде. Обсуждаются возможные методики оценки оптической толщины облачного слоя по характеристикам лидарного эхо-сигнала.

Как показали результаты расчетов, при зондировании облачного слоя с оптической толщиной меньшей четырех коротким лазерным импульсом в видимом диапазоне длин волн приемник моностатического широкоугольного CCD лидара регистрирует расширяющееся световое кольцо. Со временем яркость кольца существенно падает, а угловая скорость распространения слегка уменьшается. Если измерять угловую скорость расширения кольца по наиболее ярким участкам, то она меньше для оптически более толстых облачных слоев. Кроме того, при увеличении оптической толщины само кольцо становится более размытым, и для значений оптической толщины более четырех вместо кольца приемник CCD лидара регистрирует расширяющийся со временем световой диск с затухающей яркостью. Изучаемые особенности распространения лазерного излучения в облачности существенным образом обусловлены многократным рассеянием излучения. Детально изучить влияние многократного рассеяния позволяют численные алгоритмы, разработанные на основе метода Монте-Карло. Разработанные алгоритмы ориентированы на суперкомпьютерное моделирование.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 15-01-00783), программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 43 по стратегическим направлениям развития науки "Фундаментальные проблемы математического моделирования" и государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (грант Президента Российской Федерации НШ-5111.2014.1).

Stochastic simulation of scattering for laser pulses in a cloud layer

Sergei M. Prigarin (sergeim.prigarin@gmail.com)
Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6 Lavrentyeva pr., 630090 Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State University, 2 Pirogova str., 630090 Novosibirsk, Russia

This paper deals with the study by Monte Carlo method of the laser pulse propagation in cloud layers. We study the conditions when the wide-angle imaging CCD LIDAR return signals have the shapes of either an expanding ring or a disk. In addition, we investigate the spatial-temporal field of brightness generated by scattering of the laser pulse in a cloudy medium, and discuss possible techniques to estimate the cloud layer thickness by characteristics of the LIDAR returns.

Numerical experiments show that the receiver of a monostatic wide-angle CCD LIDAR should record an expanding luminous ring in the case of sensing a cloud layer of optical thickness less than 4 in a visible range of the spectrum. The brightness of the ring rapidly decreases with respect to time. The radial speed measured by the brightest ring area decreases for optically thicker cloud layers. Moreover, for a larger optical thickness the luminous ring becomes more diffused, and for values of the optical thickness larger than 4 the CCD return signals have the shape of a luminous disk that is widening and dimming with respect to time. Such peculiarities of the laser beam propagation in clouds are essentially caused by the multiple light scattering. The influence of the multiple scattering can be studied in considerable detail by the numerical algorithms developed on the basis of Monte Carlo methods. The developed algorithms are well suited to the supercomputer simulation.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project 15-01-00783), by the Basic Research Program No.43 of the Presidium of the Russian Academy of Sciences "Fundamental Problems of Mathematical Modeling", and by the Program for Leading Scientific Schools of Russia (Grant NSh-5111.2014.1).

Non-LTE radiative transfer in the context of infrared satellite observations of the lower atmosphere

A.G. Feofilov[1] (artem.feofilov@lmd.polytechnique.fr), L. Rezac[2], A.A. Kutepov[3], V. Capelle[1]
[1]*Laboratoire de Meteorologie Dynamique, IPSL/CNRS, Ecole Polytechnique, France*
[2]*Max Planck Institute for Solar System Research, Goettingen, Germany*
[3]*The Catholic University of America / NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA*

In recent decades, more and more advanced satellite sensors have been measuring the Earth's atmosphere, clouds, aerosols, and surface characteristics to enable enhancements in weather prediction, climate monitoring, and environmental change detection. In particular, hyperspectral instruments measuring the thermal infrared part of the spectrum provide a plethora of information about atmospheric temperature, trace gas concentration, clouds, aerosols, and surface in narrow spectral channels. These instruments are usually flying onboard a series of meteorological platforms and are therefore predestined for climate monitoring.

The results obtained in this field are already impressive: mid-tropospheric temperature and humidity profile retrieval with the accuracy of up to 1 K and 10%, respectively; near real-time mapping of chemical species and aerosols; tracking the greenhouse gases, cloud properties retrieval,

and the list is not exhaustive. However, there is a limitation, which does not allow a full usage of all advantages these instruments offer. The problem is linked with the radiation of the atmospheric layers, for which the conditions of local thermodynamic equilibrium (LTE) do not hold, and the populations of vibrational levels deviate from the Boltzmann distribution for the local kinetic temperature. The non-LTE effects strongly limit the exploitation of the channels sensitive to the contribution of the middle and upperatmosphere. For instance, about a quarter of IASI channels are not currently used due to this issue.

Even though current retrievals take into account the atmosphere up to the mesopause level, the complexity of the processes governing the vibrational level populations in the upper atmosphere precludes using exact non-LTE calculations. As a result, some channels can not be used at all or empirical corrections are introduced. This issue has been clearly identified by the radiative transfer community, as well as by atmospheric composition and climate communities. In this work, we show an approach for applying complex non-LTE models developed in recent years to the operational retrievals in the lower atmosphere.

Robust radiative transfer models accounting for cloud inhomogeneities and used for trace gas retrieval

D.S. Efremenko (dmitry.efremenko@dlr.de), A. Doicu, D. Loyola, T. Trautmann
German Aerospace Center, Remote Sensing Technology Institute, 20 Münchener Str., 82234 Weβling, Germany

A massive amount of data is expected from the new generation of European UVNS atmospheric composition satellite missions Sentinel 5 Precursor, Sentinel 4 and Sentinel 5. Due to the relative high spatial resolution of these missions, it is important to account for the sub-pixel cloud inhomogeneities, or at least, to assess their effect on the radiances at the top of the atmosphere, and in particular, on the retrieval results. In this regard, we have designed a novel stochastic model for solving the solar radiation problem under broken cloud conditions and a molecular atmosphere with its underlying surface [1]. This model allows the probabilistic computation of the mean radiance at the top of the atmosphere. For broken clouds, the *n*th-order stochastic model reduces to a first-order stochastic model for a two-dimensional radiance vector, whose entries are the mean radiance field and the covariance of the radiance and the indicator fields. The stochastic model has been solved using the discrete ordinate formalism and has been validated using the reference solution computed by ensemble averaging of multidimensional SHDOM solutions [2].

The major performance bottle-neck for the retrieval algorithms of the atmospheric Sentinel missions are the time-consuming radiative transfer model (RTM) simulations. For this reason we developed a radiative transfer model code using the GPU architecture of modern graphical cards [3]. To reduce the CPU/GPU communication overhead, we exploited the asynchronous data transfer between host and device. To obtain optimal performance, we also used overlapping of CPU and GPU computations by distributing the workload between them. With GPUs, we achieved a 20x-40x speed-up for the multi-stream RTM, and 50x speed-up for the two-stream RTM, these figures with respect to performance with the original single-threaded CPU codes.

In the talk, we report on the computational issues of both the stochastic model and GPU-accelerated model in the context of operational trace gas retrieval applications.

1. Doicu A., Efremenko D.S, Loyola D., Trautmann T. Discrete ordinate method with matrix exponential for stochastic radiative transfer in broken cloud fields // *J.Q.S.R.T.* 2014. V. 138. P. 1–16
2. Evans KF. The spherical harmonic discrete ordinate method for three-dimensional atmospheric radiative transfer // *J. Atmos. Sci.* 1998. V. 55. P. 429–446.
3. Efremenko D.S., Loyola D.G., Doicu A., Spurr R. Multi-core-CPU and GPU-accelerated radiative transfer models based on the discrete ordinate method // *Comp. Physics Comm*. 2014. V. 185. P. 3079–3089.

Деполяризация светового импульса в средах с индикатрисами Рейнольдса-Маккормика

Городничев Е.Е. (gorodn@theor.mephi.ru), Кузовлев А.И., Рогозкин Д.Б.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Каширское шоссе *31, 115409* Москва, Россия

При распространении светового импульса в рассеивающей среде происходит деполяризация и уширение временного профиля сигнала. Первопришедшие фотоны в импульсе распространяются вдоль почти прямых траекторий и могут быть использованы для получения изображения объектов, помещённых внутрь среды [1]. Эти фотоны сохраняют первоначальную поляризацию. Поэтому регистрация поляризации прошедшего излучения позволяет «отсекать» фотоны, прошедшие через слой с малыми (не превышающими время деполяризации) запаздываниями [1]. Деполяризация линейно поляризованных импульсов, прошедших через толстый рассеивающий слой, рассматривалась как экспериментально [1], так и с помощью численного моделирования методом Монте-Карло [2, 3]. Аналитическое решение задачи о деполяризации ультракоротких световых импульсов в рамках малоуглового приближения Фоккера-Планка дано в [4]. Указанное приближение справедливо для быстро убывающих индикатрис и оказывается неприменимо для описания рассеяния света в реальных средах, когда фазовая функция с ростом угла рассеяния убывает достаточно медленно и с хорошей точностью описывается индикатрисой Рейнольдса-Маккормика [5].

В настоящей работе рассчитана временная зависимость степени поляризации в импульсе, прошедшем через рассеивающую среду с фазовой функцией Рейнольдса-Маккормика. В приближении основных поляризационных мод найдено решение нестационарного векторного уравнения переноса. Показано, что степень линейной поляризации является автомодельной функцией единственного аргумента $\tau_{tr}(\Delta/z)^2 - \alpha$ (z, τ_{tr} и Δ – толщина, транспортная оптическая толщина слоя и запаздывание; α – параметр, входящий в индикатрису Рейнольдса-Маккормика, $0 \le \alpha \le 2$ [5]). Полученные результаты с хорошей точностью совпадают с результатами численного моделирования [2], выполненными для рассеивающей среды с Ми-частицами (водная суспензия микросфер латекса).

1. Andrews D.L. (ed.). *Photonics: Biomedical photonics, spectroscopy, and microscopy*. 2015. V. 4. Wiley.
2. Bruscaglioni P., G. Zaccanti and Q. Wei. Transmission of a pulsed polarized light beam through thick turbid media: numerical results // *Appl. Opt.* 1993. V. 32. P. 6142–6150.
3. Wang X., L.V. Wang, C.W. Sun, and C.C. Yang // Polarized light propagation through scattering media: time-resolved Monte Carlo simulations and experiments. *J. Biomed.Opt.* 2003. 8. P. 608–617.
4. Gorodnichev E.E., S.V.Ivliev, A.I.Kuzovlev, D.B.Rogozkin. Depolarization of Light in the Pulse Transmission through the Medium with Large Inhomogeneities // *Laser Phys.*, 2010. V. 20. № 12. P. 2021–2028; Transillumination of highly scattering media by polarized light // in *Light Scattering Reviews* (ed. A.A. Kokhanovsky). V. 8. Springer-Praxis. 2013. P. 317–361.
5. Reynolds L.O.and N.J. McCormick. Approximate two-parameter phase function for light scattering // *JOSA.* 1980. V. 70. № 10. P. 1206–1212.

Depolarization of a pulse of light in media with the Reynolds-Mccormick phase function

E.E. Gorodnichev (gorodn@theor.mephi.ru), A.I. Kuzovlev, and D.B. Rogozkin
National Research Nuclear University "MEPhI", 31 Kashirskoe sh., 115409 Moscow, Russia

An ultrashort pulse of light propagating in a scattering medium experiences multiple scattering events, resulting in broadening of its temporal profile and depolarization. Early arrival photons of the transmitted pulse propagate along nearly straight lines and can be used to image objects hidden inside the medium [1]. These photons are the least depolarized. Therefore polarization can be used for gating the early arrival component of the transmitted pulse with the gate of the order of a polarization decay time [1]. Depolarization of linearly polarized pulses

transmitted through a thick turbid slab was studied both experimentally [1] and numerically with Monte Carlo codes [2, 3]. An analytical treatment of the depolarization process was carried out within the small-angle Fokker-Planck approximation [4] which holds provided that the phase function falls off rapidly as the scattering angle increases. Such an approximation fails for many realistic situations where the phase function decreases rather slowly and can be approximated by the Reynolds-McCormick phase function [5].

In the present report we calculate the temporal profile of the degree of polarization for an ultrashort pulse transmitted through a turbid medium with the Reynolds-McCormick phase function. Within the basic mode approximation, an analytical solution of the vector radiative transfer equation is obtained. The degree of linear polarization is shown to be described by a self-similar function which depends only on a combination of the transport optical thickness τ_{tr}, the temporal delay Δ and the thickness of the sample z in the form $\tau_{tr}(\Delta/z)^2 - \alpha$ (α is the parameter of the Reynolds-McCormick phase function, $0 \le \alpha \le 2$ [5]). Our results obtained with the Reynolds-McCormick phase function are in an excellent agreement with the results of numerical simulations [2] performed for a turbid medium composed of Mie-particles (polystyrene microspheres suspended in water).

1. Andrews D.L. (ed.). *Photonics: Biomedical photonics, spectroscopy, and microscopy*. 2015. V. 4. Wiley.
2. Bruscaglioni P., G. Zaccanti and Q. Wei. Transmission of a pulsed polarized light beam through thick turbid media: numerical results // *Appl. Opt.* 1993. V. 32. P. 6142–6150.
3. Wang X., L.V. Wang, C.W. Sun, and C.C. Yang // Polarized light propagation through scattering media: time-resolved Monte Carlo simulations and experiments. *J. Biomed.Opt.* 2003. 8. P. 608–617.
4. Gorodnichev E.E., S.V.Ivliev, A.I.Kuzovlev, D.B.Rogozkin. Depolarization of Light in the Pulse Transmission through the Medium with Large Inhomogeneities // *Laser Phys.*, 2010. V. 20. № 12. P. 2021–2028; Transillumination of highly scattering media by polarized light // in *Light Scattering Reviews* (ed. A.A. Kokhanovsky). V. 8. Springer-Praxis. 2013. P. 317–361.
5. Reynolds L.O.and N.J. McCormick. Approximate two-parameter phase function for light scattering // *JOSA.* 1980. V. 70. № 10. P. 1206–1212.

Моделирование спектров поляризованного теплового излучения в рассеивающей атмосфере

Фомин Б.А.[1](b.fomin@mail.ru), Фалалеева В.А.[2] (victory@phystech.edu)

[1]Центральная Аэрологическая Обсерватория, ул. Первомайская *3, 141700* Долгопрудный Моск. обл., Россия

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

Как известно, перистые облака и аэрозоли играют важную роль в формировании теплового режима стратосферы и образовании озонового слоя. Для их изучения с успехом применяются поляризационные измерения уходящего солнечного излучения аппаратурой, установленной на спутниках. Следует отметить тенденцию применения в подобных измерениях спектрометров с высоким разрешением – вплоть до ~ 0.1 см$^{-1}$. Так, с помощью японского Фурье-спектрометра FTS-TANSO, установленного на спутнике GOSAT (Япония), проводились измерения поляризации солнечного излучения, отражённого от атмосферы и поверхности в спектральных каналах шириной ~ 0.3 см$^{-1}$. Однако использование солнечного излучения ограничивает измерения дневным временем, что является их большим недостатком. Поэтому возникает естественный интерес применения подобных измерений с использованием теплового (собственного) излучения атмосферы, тем более что тепловая радиация поляризуется только при рассеянии частицами, но не молекулами (как солнечная). Этот факт даёт дополнительное основание полагать, что поляризационные измерения тепловой радиации на спутниках могут быть весьма информативны в исследованиях рассеивающих слоёв атмосферы. Однако тепловое излучение менее поляризовано, чем солнечное. Более того, поляризация заметна лишь в исходящих из облака лучах, близких к касательным. Поэтому её измерения возможны только в лимбовой геометрии, где, однако, существует известная проблема поглощения излучения на длинных трассах в атмосфере.

Таким образом, вопрос практического применения поляризационных измерений теплового излучения требует изучения, для чего необходимо оценивать величину поляризации уходящего излучения.

С этой целью на основе метода Монте-Карло (МК) была разработана векторная модель высокого спектрального разрешения (line-by-line), позволяющая строго учитывать процессы переноса поляризованной тепловой радиации в рассеивающем слое, а затем её поглощение и эмиссию молекулами воздуха в сферической атмосфере на трассе облако-спутник. Принципиальной особенностью представленной МК модели является специфический источник эмиссии фотонов: только рассеивающий слой. Это позволило существенно увеличить эффективность вычислений, так как источник испускает уже поляризованные фотоны из ограниченной области атмосферы. Затем применяются «локальные оценки» метода Монте-Карло. Методика моделирования источника будет рассмотрена в докладе. Она основана на детальном учёте спектров однократно рассеянной тепловой радиации. Также в докладе будут рассмотрены численные эксперименты по зондированию перистых облаков и стратосферного аэрозоля, в которых используются реалистические векторные оптические модели рассеивающих сред. Эти эксперименты в целом подтвердили возможность исследования перистых облаков и стратосферного аэрозоля методами спутниковой ИК-поляриметрии высокого разрешения.

Работа поддержана грантами РФФИ (15-01-00783 и 14-01-00197).

Simulation of the spectra of polarized thermal radiation in a scattering atmosphere

B.A. Fomin[1] (b.fomin@mail.ru), V.A. Falaleeva[2] (victory@phystech.edu)
[1]*Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny, Moscow reg., Russia*
[2]*A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*

It is well known that cirrus clouds and aerosols play major role in regulating the thermal regime of the stratosphere and the formation of the ozone layer. Carried out by satellites equipment, polarization measurements of the outgoing solar radiation are successfully used for investigation of clouds and aerosols. There is the tendency for such measurements that should be noted: the use of spectrometers with high resolution – up to ~ 0.1 cm^{-1}. For example, polarization measurements of solar radiation reflected by the atmosphere and surface were carried out by Japanese Fourier Spectrometer FTS-TANSO, mounted on the satellite GOSAT (Japan), and the width of the spectral channels is ~ 0.3 cm^{-1}. However, the use of solar radiation restricts measurements to the daytime, and it is a big disadvantage. A natural interest arises in application of such measurements for thermal radiation, especially because thermal radiation is polarized due to only particle scattering, not molecules (as for solar radiation). This fact gives an extra reason to consider satellite polarization measurements of thermal radiation as highly informative in the investigation of atmosphere scattering layers. However, the thermal radiation is less polarized than solar one. Moreover, the polarization becomes noticeable only in coming from cloud rays that close to the tangent. Therefore, its measurements make sense only in the limb geometry, where, however, there is a known problem of radiation absorption on long paths in the atmosphere. Thus, the question of practical application of polarization measurements of thermal radiation requires research, for this purpose it is necessary to assess the magnitude of the polarization of the outgoing radiation.

To this end, we developed the Monte Carlo (MC) vector model with high spectral resolution (line-by-line), which allows to rigorously considering the radiative transfer processes for polarized thermal radiation in a scattering layer, and then its absorption and emission of air molecules in a spherical atmosphere on the track cloud-satellite. The principal feature of the represented MC model is specific source of photons emission: only a scattering layer. It allows to significantly increasing the computational efficiency, as the source emits already polarized photons from a limited region of the atmosphere. Then the Monte Carlo “local estimation” techniques are used. The source modeling technique will be discussed in the report. It is based on a detailed accounting of the

spectra of single scattered thermal radiation. Also in the report we will consider the numerical experiments on remote sensing of the cirrus clouds and stratospheric aerosol with use of the realistic vector optical model of scattering media. In general, these experiments confirmed the possibility of the cirrus clouds and stratospheric aerosol investigation by techniques of satellite infrared high resolution polarimetry.

This work is supported by RFBR grants (15-01-00783 and 14-01-00197).

Численное моделирование световых полей в атмосфере с разорванной облачностью

Будак В.П. (BudakVP@mpei.ru), Желтов В.С., Шагалов О.В.
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Красноказарменная *14, 111250* Москва, Россия

Решение современных задач оптического дистанционного зондирования атмосферы из космоса требует от математических моделей переноса излучения в мутной среде точности менее 1%. Для этого необходимо учитывать все существенные факторы, влияющие на перенос излучения. В каждый момент времени как минимум половина планеты покрыта облаками, поэтому измерения со спутника почти всегда проводится в разрывы облаков. При этом около облаков появляются эффекты, которые существенно влияют на излучение, попадающее в поле зрение системы, и должны обязательно быть учтены при моделировании. Наряду с точностью к алгоритмам обработки данных дистанционного зондирования предъявляются высокие требования по скорости, где на сегодня является требование менее 1 секунды расчета распределения яркости для одной длины волны. Существующие программы являются очень ресурсоемкими, поэтому для создания алгоритма требуется не только точно учесть все факторы, влияющие на сигнал, но и найти способы ускорения выполнения программы.

В теории переноса частиц был предложен квазидиффузный метод решения уравнения переноса. Метод представляет собой разновидность метода синтетических итераций, когда итерация проводится в два шага. На первом шаге ищется приближенное решение, хорошо сходящееся в метрике в среднем по энергии. На втором шаге выполняется обычная итерация. Сходимость во многом определяется тем, насколько хорошо сходится решение на первом шаге по энергетике. В квазидиффузионном методе в качестве первого шага используется диффузионный метод решения или, что эквивалентно, приближение первого порядка метода сферических гармоник (СГ). Условием применимости данного подхода является близкий к изотропному характер рассеяния в среде и источников на границе.

В случае облачных сред применение метода становится неэффективно по причине сильно анизотропного характера рассеяния. В граничных условиях при освещении верхней границы атмосферы солнцем содержится дельта особенность по углу, которая в силу лучевого приближения теории переноса сохраняется во всех точках светового поля. Для развития метода и его использования в облачных средах представим решение в виде суммы двух частей: анизотропной части, описывающей анизотропию углового распределения яркости, которая находится приближенно, но аналитически, и регулярной по углу части, определяемой численно в диффузионном приближении. Далее от полного решения берется обычная итерация. При правильном выборе приближенного решения, описывающего анизотропную часть, регулярная часть будет близкой к изотропной, и условия применимости квазидиффузионного приближения будут выполнены.

Важнейший вопрос – как определить понятие анизотропии тела яркости? Это затруднительно сделать в угловом пространстве из-за большой производной по углу. Однако это достаточно просто сделать для углового спектра распределения яркости – более анизотропной части решения соответствует медленно монотонно убывающая часть спектра. Это позволяет разложить спектр в ряд Тейлора с сохранением первых двух, что преобразует соответствующую бесконечную систему дифференциальных уравнений метода СГ в одно

уравнение в частных производных, допускающее аналитическое решение. Такой подход получил название малоугловая модификация метода сферических гармоник (МСГ).

Проведено исследование описанным методом световых полей в плоском слое для тестирования алгоритма и в плоском слое с цилиндрическим отверстием. Проанализировано влияние диаметра отверстия на отличие от приближения независимого пикселя.

Numerical modeling of light fields in the atmosphere with broken clouds

V.P. Budak (BudakVP@mpei.ru), V.S. Zheltov, O.V. Shagalov
National Research University «MPEI», 14 Krasnokazarmennaya str., 111250 Moscow, Russia

Modern problems of optical remote sensing of the atmosphere from the space require mathematical models of radiative transfer in a turbid medium with the solution accuracy of less than 1%. For this purpose, it is necessary to take into account all the relevant factors affecting the transport of radiation. At any given time, at least half of the planet is covered with clouds, so the measurements from the satellite are usually carried out in the gaps of the clouds. However, the effects appear near the clouds that affect significantly the radiation gained the field of view of the system, and should be taken into account in the simulation. Along with the precision, the processing remote sensing make high demands on speed to algorithms. Today the requirement for the computation speed is less than 1 second for calculating the radiance distribution of one wavelength. Existing programs are very exacting to computing resources. Therefore, the creation of the algorithm requires not only to take into account all the factors affecting the signal accurately, but also to find ways to accelerate the implementation of the program.

In the theory of particle transport, a quasi-diffuse method for solving the transfer equation was proposed. The method is a variation of the method of synthetic iterations when the iteration is performed in two steps. In the first step, the approximate solution is sought, well converging in the metric average by energy. In the second stage, the usual iteration is performed. Convergence is largely determined by how well the solution converges in the first step by energy. In the quasi-diffusion method, the solution of the diffusion equation or, equivalently, the first order approximation of the method of spherical harmonics (SH) is used as a first step. The condition of applicability of this approach is close to the isotropic behavior of the scattering medium, and sources at the border.

In the cloud case, the method application becomes inefficient because of strong anisotropic light scattering in clouds. The boundary conditions at the top of the atmosphere illuminated by the sun contain the delta singularity in the view angle. Due to the ray approximation of the radiation transfer theory this singularity is maintained at all points of the light field. For the development of the method and its use in clouds, let us represent the solution as a sum of two parts: an anisotropic and a regular parts. The anisotropic part describing the anisotropy of the radiance angular distribution, we find approximately, but analytically. The regular part is defined numerically in the diffuse approximation. Then we perform an ordinary iteration of the complete solution. With the right choice of the approximate solutions, describing the anisotropic part, the regular part is close to the isotropic and applicability quasi-diffuse approach will be implemented.

The most important question is how to define the anisotropy of the radiance angular distribution? It is hard to do in the angular space: a large derivation by the angle? However, it is enough simple to make it for the angular spectrum of the radiance distribution: the more anisotropic part of the solution corresponds to the slow monotonically decreasing part of the spectrum. It allows you to expand the spectrum in the Taylor series retaining the first two items that converts the corresponding infinite system of differential equations SH method by one partial differential equation, admits an analytic solution. This approach is called small-angle modification of the spherical harmonics method (MSH).

The research by the described method of light fields in a slab for testing the algorithm and in a slab with a cylindrical gap is carried out. The effect of the influence of the gap diameter on distinction with the independent pixel approximation (IPA) is analyzed.

Численное решение обратной задачи в применении к дистанционному зондированию оптически мелководных природных вод

Поздняков Д.В.[1,2] (dmitry.pozdnyakov@niersc.spb.ru), Коросов А.А.[1], Шухман Р.А.[3], Саэрс М.[3], Сотелл К.[3]

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

[2]Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, *14-я* линия В.О. *7, 199034* Санкт-Петербург, Россия

[3]Мичиганский технический институт, Анн Арбор, Штат Мичиган, США

Разработан новый био-оптический алгоритм (BOREALI-OSW), в основе которого – модель переноса излучения в видимом диапазоне спектра в системе водная среда-донная поверхность, гидро-оптическая модель водного столба и донной поверхности, а также расчетный алгоритм Левенберга-Марквардта. Численное решение на данной основе позволяет восстанавливать по спутниковым данным концентрации цвет образующих компонент (хлорофилла фитопланктона, общего взвешенного вещества и растворенного органического вещества) для различных видов покрытия донной поверхности (песок, ил, галька и заросли таких макрофитов как Chara, и Cladophora).

Оценка чувствительности и точности разработанного иструмента произведена для условий озера Мичиган, США с применением данных in situ. Результаты восстановления обозначенных выше параметров по спутниковым данным (MODIS-Aqua) (для глубин в диапазоне 2–15 м) позволяют с уверенностью говорить о несомненных преимуществах нашего алгоритма в сравнении со стандартным алгоритмом НАСА OC4. Разработанный инструмент не избирателен по отношению к типу водного объекта, т.е. может быть применен к моским и озерным водам при условии соответствующей гидрооптической модели и информации о типе донной поверхности.

Numerical solution of the inverse problem in application to remote sensing of optically shallow waters

Dmitry Pozdnyakov[1,2] (dmitry.pozdnyakov@niersc.spb.ru), Anton Korosov[1], Robert Shuchman[3], Michael Sayers[3], Reid Sawtell[3]

[1]*Nansen Environmental and Remote Sensing Center, 47 Thormohlensgate, 5009 Bergen, Norway*

[2]*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line Vasilievsky Island, 199034 St. Petersburg, Russia*

[3]*Michigan Tech Research Institute, 3600 Green St., Ste. 100, Ann Arbor, MI 48105, USA*

A new bio-optical retrieval algorithm (BOREALI-OSW), based on a forward radiation transfer model, LM specific hydro-optical model and the multivariate optimization technique, is developed for operational retrieval from satellite data of water quality parameters in lake's optically shallow areas. The retrieval output encompasses the concentrations of major Color Producing Agents (CPAs), viz. phytoplankton chlorophyll, total suspended matter and yellow substance in transparent coastal waters with a variety of cover types: sand, silt, stands of Chara, and Cladophora, and limestone pebble.

The sensitivity of both forward and inverse modules was tested for hydro-optical conditions inherent in LM. MODIS-Aqua satellite data acquisitions for determining CPA concentrations were synchronized with in situ radiometric measurements, as well as identification of bottom type and depth. Realistic values of spectral signatures of subsurface remote sensing reflectance and CPA concentrations within the ranges of depth (2–15 m depending on the CPA concentration vector and bottom type), at which the bottom optical impact is detectable, have been retrieved. Application of the developed operational tool to processing MODIS-Aqua data (matching up the location and timing of in situ CPA and radiometric measurements) has convincingly shown its advantage over the OC_4 performance in lacustrine optically shallow waters at all control stations.

Обобщённая импульсная характеристика светорассеивающей среды

Пузанов Ю.В. (YuPuzanov@gmail.com), Роговой А.В.
12 Центральный НИИ Мин. обороны РФ, ул. Весенняя *2, 141307,* МО, Сергиев Посад *7,* Россия

Ранее [1] было показано, что на основе многочисленных результатов расчётов и некоторых физических соображений импульсную характеристику (ИХ) можно с хорошей точностью представить в виде логарифмически нормальной функции. Два параметра этой функции – дисперсия логарифма $_2$ и медианное значение времени распределения t_0 (далее медиана) – связаны с оптико-геометрическими параметрами рассеивающей среды, в частности, с показателем ослабления, геометрической толщиной трассы распространения, индикатрисой рассеяния и др. Эти параметры также зависят от вида источника (мононаправленный или сферически симметричный). Характерные точки этой функции ИХ, такие как мода, медиана и среднее значение, а также центральные моменты, тоже зависят от оптико-геометрических параметров трассы распространения.

В докладе [1] показано, что логарифмически нормальное распределение аппроксимирует ИХ с точностью примерно 8–9% на уровнях от 0.1 до максимума основной части этой функции. Заметное расхождение, до 20%, наблюдается на крыльях распределений. Кроме того, двухпараметрическая модель ИХ не обеспечивает достаточной гибкости при установлении связей между параметрами ИХ и характеристиками трассы распространения излучения.

В настоящей работе предложена новая, более гибкая, трёхпараметрическая формула для аппроксимации ИХ. Формула содержит три параметра: $_{21}$ – дисперсия логарифма $\ln t$ на стадии возрастания функции от нуля до максимума при $0 \le t \le t_1$; σ_{22} – дисперсия логарифма на стадии спада ИХ от максимума до нуля при $t_1 \le t < \infty$ и t_1 – время максимума ИХ. Параметры σ_1 и σ_2 характеризуют скорости нарастания и спада ИХ. Формула представляет собой сумму двух экспонент. Показатели экспонент заданы в виде квадратов выражений $(\ln t - \ln t_1) / \sqrt{2}\sigma_1$ и $(\ln t - \ln t_1)/\sqrt{2}\sigma_2$. При этом первая экспонента умножается на правую единичную «ступеньку», имеющую скачок от 1 до 0 при $t = t_1$, а вторая экспонента умножается на левую «ступеньку», испытывающую скачок от 0 до 1 при $t = t_1$. В таком представлении ИХ является непрерывно-дифференцируемой кусочно-аналитической функцией в пределах $0 \le t < \infty$ с максимумом в точке t_1. Доказано, что при $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ такая формула превращается в традиционное логарифмически нормальное распределение. Поэтому предложенный вид ИХ уместно назвать обобщённой логарифмически нормальной функцией. Такое представление ИХ позволяет более точно аппроксимировать результаты расчётов и измерений ИХ. Расщепление одного параметра σ на два σ_1 и σ_2 позволяет дать более подробную связь между характерными временными параметрами ИХ и параметрами трассы.

1. Puzanov Yu.V., Vagin Yu.P., Busigina N.G., Kuzmina I. Yu. Model image of the pulse characteristic of the light scattering medium // *Proc. Int. Symp. “Atmospheric Radiation and Dynamic” (ISARD-2013).* P. 60.

Generalized pulse characteristic of the light scattering medium

Yu.V. Puzanov (YuPuzanov@gmail.com), A.V. Rogovoy
12 Central Institute of Russian Department of Defense, 2 Vesenyaya str., Sergiev Posad, Russia

It was showed for the first time [1] that the pulse characteristic (PC) may be presented with good accuracy as a lognormal function. Two parameters of the function – dispersion of logarithm $_2$ and the median value t_0 (in further – the median) – connected with the optical and geometric parameters of the scattering medium. The parameters depends on the source appearance as well (directed or spherical symmetric). Characteristic points of the PC function – the mode, median and mean value – also depend on the optical and geometric parameters of the propagation path.

It is showed in the report [1] that the lognormal distribution approximates the PC with the 8-9% accuracy on the levels from 0.1 to the maximum of the function. Noticeable discrepancy about

20% is observed on distribution wings. In addition the twice-parametric PC model do not provide the sufficient flexibility for the establishment links of PC with the characteristics of the propagation path.

In the given report the new three-parametric formula for the PC approximation is proposed. The formula contains three parameters: $_{21}$ – the dispersion of the ln*t* on the growth phase of the PC from zero to maximum of the PC at $0 \le t \le t_1$; σ_{22} – the dispersion of the ln*t* on the slump phase of the PC from maximum to zero at $t_1 \le t < \infty$ and t_1 – the time of the PC maximum. The parameters σ_1 and σ_2 characterize the velocities of the growth and slump of the PC. Formula is the sum of the two exponents. The exponent indices are presented in the form of the square of expressions $(\ln t - \ln t_1) / \sqrt{2}\sigma_1$ и $(\ln t - \ln t_1)/\sqrt{2}\sigma_2$. At the same time the first exponent is multiplied on the right unit step jumps from 1 to 0 at $t = t_1$, and the second exponent is multiplied on the left unit step jumps from 0 to 1 at $t = t_1$. In such image PC is the continuous differentiable and piecewise-analytic function within the range of $0 \le t < \infty$ with the maximum in the point of t_1. It is proved that such formula is transformed to the conventional lognormal distribution at $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$. Therefore such PC image appropriately to call the Generalized Lognormal Function. The image of PC allows approximating the results of PC calculations and measurements more accurately. Splitting the one parameter σ on two parameters σ_1 and σ_2 allows giving the more detailed links between the PC time characteristics and the path parameters.

1. Puzanov Yu.V., Vagin Yu.P., Busigina N.G., Kuzmina I. Yu. Model image of the pulse characteristic of the light scattering medium // *Proc. Int. Symp. “Atmospheric Radiation and Dynamic” (ISARD-2013).* P. 60.

Эффективность алгоритмов расчета световых полей в мутных средах методом Монте-Карло

Будак В.П. (BudakVP@mpei.ru), Желтов В.С., Лубенченко А.В., Шагалов О.В.
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Красноказарменная *14, 111250* Москва,Россия

Под методом Монте–Карло понимается группа методов численного решения уравнений, основанных на использовании случайных чисел для моделирования распределений с целью определения их средних характеристик. Метод имеет многочисленные применения, но наибольшие успехи достигнуты в теории переноса излучения и частиц. Условием применимости уравнения переноса является принцип локальной компактности, что физически соответствует применимости геометроптического приближения, когда траектории частиц и лучи не различимы. Метод Монте-Карло применим к любому интегральному уравнению, однако строить блуждание по лучу – нетривиальная задача. Более простым является алгоритм построения блужданий в пространстве, но для этого необходимо перейти к интегральному уравнению переноса с интегрированием по объему. Построение траектории луча в трехмерном мире не представляет проблем, но в подынтегральном выражении появляются сомножитель, пропорциональный обратному квадрату расстояния до исследуемой точки пространства, что накладывает существенные особенности на реализацию. Решение интегрального уравнения методом Монте-Карло основывается на представлении решения в виде ряда Неймана с рандомизацией вычисления каждого члена ряда, представляющего собой определенный интеграл. Это позволяет трактовать вычисления, как построение цепи Маркова с начальной и переходной плотностями вероятности. При этом вклад вычисляется непосредственно в точку поля, что определило алгоритму название – локальная оценка. Однако из-за наличия множителя с обратными квадратами по расстоянию дисперсия алгоритма оказывается бесконечной, что затрудняет его практическую реализацию. Основной прием устранения расходимости дисперсии – интегрирование по окрестности точки поля. В этом случае мы находим не яркость в точке, а ее разложение по системе базисных функций (конечных элементов), простейшей из которых является гистограмма. При этом возникает иная интерпретация алгоритма: при локальной оценке подсчитывается вероятность попадания луча в точку, то в

случае гистограммы мы строим траекторию до попадания в приемник – прямое моделирование. Физическая простота прямого моделирования определило его более широкую распространенность, особенно в физике частиц.

Проведено сравнение решения уравнения переноса излучения (УПИ) алгоритмами прямого моделирования и локальной оценкой метода Монте-Карло. Показано, что несмотря на то, что затраты на одно испытание при прямом моделировании существенно меньше локальной оценки, тем не менее локальная оценка сходится существенно быстрее за счет вклада каждого луча в каждую исследуемую точку. Получаемые в алгоритме локальной оценки распределения получаются существенно более гладкими, без выбросов. Сравнение проведено для плоского слоя мутной среды, освещаемого плоским мононаправленным источником, и случая сцены в вакууме с учетом многократных переотражений от границ. Для оценки эффективности методов моделирования использовалось время расчёта, при котором достигается средняя относительная погрешность равная 1%. Для прямого метода $2.5 \cdot 10^4$ с, для локальной оценки – $2.1 \cdot 10^3$ с.

В случае отсутствия рассеяния и поглощения УПИ определяет световое поле с учетом многократных переотражений от границ, что является основой визуализации в компьютерной графике. В этом случае УПИ переходит в так называемое уравнение глобального освещения. Для задачи точечного изотропного источника между двумя бесконечными диффузными поверхностями – при использовании локальной оценки погрешность при 1000 лучей была менее 0.1%, прямое моделирование потребовало 10000 лучей с погрешностью более 1%.

Effectiveness of algorithms for light fields calculation in a turbid medium by Monte Carlo methods

V.P. Budak (BudakVP@mpei.ru), V.S. Zheltov, A.V. Lubenchenko, O.V. Shagalov
National Research University «MPEI», 14 Krasnokazarmennaya str., 111250 Moscow, Russia

Monte Carlo methods are a group of numerical methods for solving equations based on the use of random numbers for the distributions simulation to determine their average characteristics. The method has many applications, but the greatest success was achieved in the theory of radiative transfer and particles. The condition of applicability of the transport equation is the principle of local compactness, which is physically compatible with the applicable of the ray approximation when the trajectories of particles and rays are not distinguishable. The Monte Carlo method is applicable to any integral equation, but to build a walk on the beam is a nontrivial task. It is the simpler algorithm for constructing a walk in space, but we need to transfer to an integral equation with the integration over the volume. Construction of the beam path in three-dimensional space is not a problem. In this case, the factor proportional to the inverse square of the distance to the test point of the space appears in the integrand that puts the essential features of implementation. The solution of the integral equation by the Monte Carlo method is based on the representation of the solution in the form of a Neumann series with randomization of calculation of each term of the series, which is a definite integral. It allows us to treat the estimates, as the construction of a Markov chain with initial and transition probability density. The contribution is calculated at the point of the field, which determined the name of the algorithm – the local estimation. However, the infinite variance appears in the algorithm due to the presence of the factor with the inverse square of the distance that makes it difficult to practical implementation. The main reception to eliminate the dispersion divergence is the integration over the neighborhood of the field point. In this case, we find not the radiance angular distribution at the point, but its expansion in the system of basis functions (finite element), the simplest of which is the histogram. It gives a different interpretation of the algorithm: the probability of the ray hit on a point is calculated at the local estimation, but in the case of the histogram we build the path till reaching the receiver – direct modeling. The physical simplicity of direct modeling defined its wider dissemination, especially in particle physics.

The comparison of the radiative transfer equation solutions (RTE) by algorithms of direct modeling and local estimations of the Monte Carlo methods was performed. It was shown that despite the fact that the cost per test for direct modeling significantly less the local estimation nevertheless the local estimation converges substantially faster due to the contribution of each ray to each test point. The resulting angular distribution of the local estimation algorithm is obtained much smoother, without outliers. A comparison was carried out for a turbid medium slab illuminated by the plane monodirectional source, and for the scene in a vacuum with the multiple reflections from the boundaries. To assess the effectiveness of the methods is used the calculation time, at which the average relative error of 1% is reached. For the direct method it is $2.5 \cdot 10^4$ sec, for the local estimation it is $2.1 \cdot 10^3$ sec.

In the absence of scattering and absorption of light, the RTE defines the light field considering multiple reflections from the boundaries that is the basis of the visualization in computer graphics. In this case, RTE passes into the so-called global illumination equation. For the problem of a point isotropic source between two infinite diffuse surfaces, the usage of the local estimation gives the error less than 0.1% by 1000 rays. The direct modeling required in this case 10,000 rays with an accuracy of more than 1%.

Аппроксимация многократно рассеянного солнечного излучения в рамках приближения однократного рассеяния

Васильев А.В.[1] (a.vasiliev@spbu.ru), Кузнецов А.Д.[2], Мельникова И.Н.[3]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия
[2]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196,* Санкт-Петербург, Россия
[3]РЦ «Обсерватория экологической безопасности» СПбГУ, Университетская наб. *7/9, 199034* Санкт-Петербург

Рассмотрена возможность расчета радиационных характеристик безоблачной атмосферы на базе приближения однократного рассеяния. Учет вклада многократности рассеяния осуществляется поправочным добавочным коэффициентом, который рассчитывается для оптически однородной атмосферы при визировании в надир как функция пяти параметров: зенитного угла солнца, оптической толщины, альбедо однократного рассеяния, параметра индикатрисы атмосферы и альбедо поверхности. Произведены расчеты поправочного коэффициента для сетки указанных параметров для условий не слишком оптически толстой атмосферы (оптическая толщина не более 0.5).

Рассмотрены различные аналитические параметризации добавочного коэффициента: нулевая, линейная от величины произведения оптической толщины на вероятность выживания кванта, а также полные параметризации, учитывающие его зависимость от всех исходных параметров задачи. Анализ точности различных параметризаций выявил область оптических свойств атмосферы и геометрии освещения, для которых предложенный подход обеспечивает результаты с заданной точностью.

Approximation of multiply scattered solar radiation in the framework of a single scattering

A.V. Vasilev (a.vasiliev@spbu.ru), I.N. Melnikova, A.D. Kuznetsov
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*
[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*
[3]*Environmental Safety Observatory SPbSU, Universitetskaya nab. 7/9, 199034 Saint-Petersburg, Russia*

Based on approach of a single light scattering an opportunity of calculating the radiation characteristics for cloudless atmosphere is considered. It is taken into account the contribution of multiple scattering with special correction coefficient as a function of five optical-homogeneous

atmosphere parameters: sun zenith ungle, optical depth, single scattering albedo, phase-function parameter of atmosphere and surface albedo. The culculations of correction coefficient on the grid of these parameters for conditions of optical thikness atmosphere (optical dept less then 0.5) are done.

Different parameterization of the coefficient are considered: zero, linear and power dependence from the product of the optical thickness on the probability of quantum survival as well as complete parameterization, taking into account its dependence on the problem initial parameters. Analysis of the accuracy of different parameterizations identifies ranges of the atmosphere optical properties and illumination geometry, for which the proposed approach provides results with a given accuracy.

ФФО-ХФО гипотеза образования солнечной системы: изменения во времени солнечной радиации, давления кислорода и разнообразия видов живой материи

Кадышевич Е.А.[1] (kadyshevich@mail.ru), Островский В.Е.[2] (vostrov@cc.nifhi.ac.ru)
[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия
[2]Физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, Воронцово поле *10, 105064* Москва, Россия

ФФО–ХФО Гипотеза Образования Солнечной Системы развивается нами с 2008 года [1]. Мы опираемся на фундаментальные представления, которые детализированы в окончательной форме в 2013 году [2, 3]. ФФО–ХФО Гипотеза на различных этапах ее развития была представлена в форме лекций и устных докладов на четырех всероссийских и трех международных научных конференциях. Некоторые публикации перечислены ниже [1–6]. Гипотеза дает реалистические объяснения различным явлениям в атмосфере и на поверхности Земли, таким как изотопные аномалии, атмосферные кислородные катастрофы, магнитные бури, возникновение условий для развития и вымирания видов и т.д., и на Солнце и в Солнечной Системе – таким как образование химических элементов, природа и периодичность протуберанцев, периодичность солнечных магнитных моментов и ее нарушения, различие скоростей вращения солнечной радиационной зоны и солнечного ядра, высокая температура солнечной короны, парадокс моментов количества движения, и т.д. [3, 4, 5].

ФФО–ХФО Гипотеза позволяет совместить на шкале времени историю ледниковой обстановки, историю изменений содержания кислорода в атмосфере и историю появления и распространения флоры и фауны на Земле и позволяет выявить и объяснить произошедшие около 2.3 и 0.54 млрд. лет тому назад совпадения между конечными фазами ледниковых периодов, с одной стороны, и атмосферными кислородными катастрофами и периодами взрывного развития новых видов живых организмов, с другой стороны. Кроме того, гипотеза позволяет объяснить определенными катастрофическими явлениями на Солнце каждый из десяти выявленных палеонтологами периодов вымирания земной флоры и фауны, случившихся за последние 0.54 млрд. лет. Гипотеза предсказывает приближение периода нерегулярности солнечных циклов и необычайно мощных протуберанцев с появлением в них радиоактивных тяжелых изотопов [6].

Мы предлагаем метод проверки ФФО–ХФО Гипотезы и правдоподобия заключений, которые сделаны нами на ее основе.

Работа была частично поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект 12-05-01082-а).

1. Островский В.Е., Е.А. Кадышевич. Гипотеза образования залежей гидрата метана и других углеводородов и происхождения живой материи. В кн. Дегазация Земли*:* геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы. М.: ГЕОС. 2008. 374 с.
2. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO–CFO hypothesis of Solar System formation: the notion of the Sun-like stars and their transformations // *EPSC Proc.* 2013. V. 8. C. 145.
3. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. PFO–CFO Hypothesis of Solar System Formation: the presolar star as the only source of chemical elements for the Solar System // *EPSC Proc.* 2013. V. 8. C. 38.

4. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. The PFO–CFO hypothesis of Solar System formation: the birth of chemical elements // *EPSC Proc.* 2012. V. 7. P. 101.
5. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. Development of the PFO–CFO hypothesis of Solar System formation: Why do the celestial objects have different isotopic ratios for some chemical elements? // *Adv. in Plasma Astrophys.* 2011. V. 95. № 6.
6. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO–CFO Hypothesis of Solar System formation: its actuality and physical and chemical grounds // *EPSC Proc.* 2014. V. 9. P. 653.

PFO-CFO hypothesis of solar system formation: temporal variations in the solar radiation, oxygen pressure, and l iving-matter species diversity

E.A. Kadyshevich[1] (kadyshevich@mail.ru), V.E. Ostrovskii[2] (vostrov@cc.nifhi.ac.ru)
[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky str., 119017 Moscow, Russia*
[2]*Karpov Institute of Physical Chemistry, 10 Vorontsovo Pole, 105064 Moscow, Russia*

The PFO–CFO Hypothesis of Solar System Formation has been developed by us since 2008 [1]. We rest on the fundamental notions, which were completed and detailed in 2013 [2, 3]. The PFO–CFO Hypothesis at different steps of its development was presented in the form of lectures or oral presentations at four All-Russian and three International scientific conferences. Some publications are listed below [1–6]. The hypothesis allows realistic explanations of different phenomena which occur in the Earth's atmosphere and on the Earth, such as the so-called isotopic anomalies, the atmospheric oxygen catastrophes, magnetic storms, appearance of the conditions for species origination and extinction, etc., and on the Sun and in the Solar System, such as the formation of chemical elements, nature and periodicity of the protuberances, solar magnetic moment periodicity and its abnormalities, difference in the rotation speeds of the solar core and radiation zone, solar corona high temperature, paradox of the Solar System angular momenta, etc. [3, 4, 5].

Our hypothesis allows for overlapping in the time scale the histories of the boulder-periods, variations in the atmospheric oxygen content, and propagations and extinctions of the flora and fauna on the Earth and for revealing and explaining the coincidences about 2.3 and about 0.54 Gya between the period of termination of the boulder-periods, on the one hand, and the periods of oxygen atmospheric catastrophes and periods of explosive appearances and developments of new species, on the other hand. This hypothesis allows also explanations of each of 10 Earth's living-mass extinctions, which occurred for the last 0.54 Gy, by definite harmful solar phenomena. The hypothesis predicts the approaching of a period of irregularities in the solar cycles and of unusually powerful protuberances with increasing concentration of radioactive heavy isotopes [6].

We give the method for verification of the PFO–CFO Hypothesis and of the plausibility of the conclusions which are made by us on its ground.

The work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 12-05-01082-a).

1. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich, Hypotheses of hydrocarbon-hydrate formation and living matter origination at the Earth. In book: *Degassing of the Earth; geodynamics, geofluids, oil, gas, and their parageneses.* Moscow: GEOS. 2008. 374 p. (in Russian)
2. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO–CFO hypothesis of Solar System formation: the notion of the Sun-like stars and their transformations // *EPSC Proc.* 2013. V. 8. C. 145.
3. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. PFO–CFO Hypothesis of Solar System Formation: the presolar star as the only source of chemical elements for the Solar System // *EPSC Proc.* 2013. V. 8. C. 38.
4. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. The PFO–CFO hypothesis of Solar System formation: the birth of chemical elements // *EPSC Proc.* 2012. V. 7. P. 101.
5. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. Development of the PFO–CFO hypothesis of Solar System formation: Why do the celestial objects have different isotopic ratios for some chemical elements? // *Adv. in Plasma Astrophys.* 2011. V. 95. № 6.
6. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO–CFO Hypothesis of Solar System formation: its actuality and physical and chemical grounds // *EPSC Proc.* 2014. V. 9. P. 653.

Оптические свойства загрязненной поверхности легко конденсирующимися веществами (ЛКВ) в вакуумных условиях

Калашников Е.В. (evk1955@yandex.ru)
Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, Сосновый Бор Ленинградской области, *188540* Россия

На околоземной орбите около космического аппарата существует облако частиц и газа – так называемая собственная внешняя атмосфера космического аппарата [1]. Возможными источниками происхождения такого облака из газа и даже частиц в космосе могут быть все материалы, употребляемые в конструкции КА, которые испаряются, сублимируются или обезгаживаются. Возвращающиеся молекулы могут ударяться о поверхность КА и отлагаться в виде адсорбата или конденсата, загрязняя тем самым критические поверхности оборудования КА, в частности, оптические поверхности оптико-электронной аппаратуры КА.

В предлагаемой модели искривленной стопы Стокса для проведения анализа оптических свойств получаемого осадка на оптической поверхности с зеркальным покрытием при различных углах падения внешнего коллимированного потока Φ_0 используются аналитические выражения отраженных и рассеянных потоков для случая светорассеивающей и сильно-поглощающей среды осадка в условиях коллимированного освещения, когда классическая двухпотоковая теория Кубелки-Мунка неприменима. Отличительными особенностями рассматриваемой модели от известных модельных представлений [2, 3] будут следующие. Во-первых, мутная (поглощающая и рассеивающая) среда осадка на поверхности покрытия для каждого падающего луча представляет собой совокупность бесконечно тонких отражающих границ – неоднородностей Q_i в виде концентрических окружностей с центром в точке J на зеркальной поверхности. Таким образом, каждый падающий луч и отраженный луч от зеркала всегда ортогональны отражающей границе неоднородностей Q_1, Q_2, …Q_i, …Q_{n-1}, Q_n. Во-вторых, нормаль к поверхности зеркала с осадком, как и в случае отсутствия осадка, наклонена под углом ψ к падающему потоку Φ_0. Выбор модельной среды в виде искривленной стопы тонких отражающих границ в нашем случае обусловлен еще и тем, что распределение поля излучения в N-слойной стопе может быть подобрано строго и точно простейшими фотометрическими расчетами при любых углах падения коллимированного потока Φ_0, на поверхность с мутным осадком.

Найденное в результате расчетов точное распределение поля излучения внутри и на внешних границах стопы на основе исходных коэффициентов среды – коэффициента отражения R от бесконечно тонкой плоской отражающей границы неоднородностей Q_i, погонного коэффициента поглощения излучения К в среде с размерностью длина$^{-1}$ и средней плотности неоднородностей внутри среды позволяет в дальнейшем использовать его для сравнения с полученными экспериментальными результатами измерений спектральных коэффициентов отражения $R_{\text{сред}}(\lambda)$ под различными углами падения ψ коллимированного падающего потока Φ_0, в том числе и при наличии защитного слоя на зеркальной поверхности.

В результате показана связь предложенного аналитического решения задачи определения потоков излучения в рассеивающей и поглощающей среде на зеркальной поверхности с транспортными коэффициентами теории Гуревича для мутных сред.

1. Акишин А.И. Космическое материаловедение. М.: НИИЯФ МГУ. 2007. 209 с.
2. Рогаткин Д.А. Развитие двухпотоковой модели Кубелки-Мунка для решения одномерных задач распространения света в рассеивающих биологических тканях и средах // Оптика и спектроскопия. 1999. Т. 87. № 1. С. 109–113.
3. Кортюм Г., Браун В., Герцог Г. Принципы и методика измерения в спектроскопии диффузного отражения // УФН. 1965. Т. 85. № 2. С. 365–380.

Optical properties of a surface contaminated by gaseous products under vacuum conditions

Ye.V. Kalashnikov (evk1955@yandex.ru)
Sientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering, Sosnovy Bor, Leningrad reg., 188540 Russia

A spacecraft's own external atmosphere is a cloud of particles and gases that exists in the vicinity of the spacecraft orbit [1]. All of the spacecraft materials serve as possible sources of such a cloud of particles and gases in space due to evaporation, sublimation, or degassing. Molecules may strike the spacecraft surface and form the adsorbate or condensate that contaminates critical surfaces of the spacecraft equipment, in particular, optical surfaces of optoelectronic equipment.

To calculate the radiation flux in the framework of the two-flux theory using the radiation flux that passes through the precipitate on the mirror surface and the radiation flux that is reflected from the mirror layer and propagates in the opposite direction, we employ a new variant of the Stokes stack model (curved stack of reflecting interfaces). Note the following distinctive features of the proposed model in comparison with the model of [2, 3]. First, for each incident beam from flux Φ_0 directed toward point J on the mirror surface, turbid (absorbing and scattering) medium of precipitate represents a set of infinitely thin reflecting interfaces of heterogeneities Q_i (concentric circles centered at point J). Thus, incident and reflected beams are always orthogonal to reflecting interfaces of heterogeneities Q_1, Q_2, …, Q_i,…, Q_{n-1}, Q_n. Second, the reflection coefficient for each beam having passed through the precipitate layer to point J of the mirror surface is equal to mirror reflection coefficient r_0. Thirdly, the normal to mirror surface is tilted at angle ψ relative to incident flux Φ_0. The radiation field distribution in the stack and at the external interfaces that is calculated using coefficients R, K, and can be used for comparison with experimental results on spectral reflection coefficients $R_S(\lambda)$ at different incidence angles ψ of incident flux Φ_0.

An analytical solution is obtained for the problem of radiation fluxes in scattering and absorbing medium of precipitate on a mirror surface, and a relation of model absorption and scattering coefficients for optical radiation in such medium and transport coefficients of the Gurevich theory of turbid medium is demonstrated.

1. Akishin A.I. *Space Materials Science: Methodology and Tutoria.* Moscow: NIIYaF MGU. 2007. 209 pp. (in Russian)
2. Rogatkin D.A. Development of a Kubelka-Munk double-flow model for solving one-dimensional problems of light propagation in scattering biological tissues and media // *Opt. Spectroscopy*. 1999. V. 87. P. 109–113 (in Russian).
3. Kortyum G., V. Braun and G. Gertsog. Principles and measurement procedure in spectroscopy of diffuse reflection // *Uspekhi Physicheskikh Nauk*. 1965. V. 85. P. 365–380 (in Russian).

Новый вариант метода дискретных ординат для расчета собственного излучения в горизонтально однородной атмосфере

Федотова Е.А.[1], Мингалев И.В.[1] (mingalev_i@pgia.ru), Родин А.В.[2,3], Игнатьев Н.И.[2,3]
[1]Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН, Академгородок *26а, 184209* Апатиты Мурманской обл., Россия
[2]Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. *84/32, 117997* Москва, Россия
[3]Московский физико-технический институт, Институтский пер. *9, 141700* Долгопрудный, Моск. обл., Россия

В данной работе изложен новый вариант метода дискретных ординат для расчёта поля собственного излучения горизонтальной однородной атмосферы Земли и других планет. Особенность этого варианта заключается в том, что для решения возникающей в методе дискретных ординат системы линейных уравнений используется метод матричной прогонки. Этот метод является точным и максимально экономичным по объему вычислений, а также относительно несложным в программной реализации. Созданная авторами программа, в которой реализован предложенный в данной работе метод, показала быстродействие

примерно в 2 раза лучше, чем быстродействие имеющегося в свободном доступе пакета программ DISORT.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-01-00063.

A new variant of the discrete ordinate method for calculating the thermal radiation in the horizontally homogeneous atmosphere

E.A. Fedotova[1], I.V. Mingalev[1] (mingalev_i@pgia.ru), A.V. Rodin[2,3], N.I. Ignatyev[2,3]
[1]*Polar Gephysical Institute RAS, 26a Akademgorodok, 184209 Apatiti Murmansky reg., Russia*
[2]*Space Research Institute RAS, 84/32 Profsoyuznaya str., 117997 Moscow, Russia*
[3]*Moscow Institute of Physics and Technology, 9 Institutskiy per., Dolgoprudny Moscow reg. 141700 Russia*

In this paper a new variant of the discrete ordinate method for calculating the thermal radiation field of the horizontally homogeneous atmosphere of the Earth and other planets is presented. The peculiarity of this option is that the matrix sweep method is used for solving the system of linear equations occurring in the method of discrete ordinates. This method is accurate and the most economical in terms of computing, as well as relatively easy to the program implementation. Program realization of the proposed method showed the performance about 2 times better than the performance of freely available software package DISORT.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects no. 13-01-00063).

Эталонные расчеты потоков собственного излучения в ИК-диапазоне в безоблачной атмосфере на средних широтах

Федотова Е.А., Мингалев И.В. (mingalev_i@pgia.ru)
[1]Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН, Академгородок *26а, 184209* Апатиты Мурманской обл., Россия

В данной работе изложены результаты эталонных расчетов потоков собственного излучения в дальнем, среднем и ближнем ИК-диапазонах в безоблачной атмосфере Земли на средних широтах. Расчеты выполнены с разрешением по частоте излучения 0.001 см$^{-1}$. При расчетах использовалось приближение горизонтальной однородной атмосферы и учитывалось молекулярное рассеяние. Для численного решения 1-мерного по пространству уравнения переноса излучения использовался новый вариант метода дискретных ординат. В расчетах использовались равномерная сетка по высоте с шагом 250 м и равномерная сетка по зенитным углам с шагом менее 9 . Коэффициенты молекулярного поглощения рассчитывались с использованием спектроскопической базы данных HITRAN 2012.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-01-00063.

Benchmark calculations of IR-thermal radiation fluxes in cloudless atmosphere at middle latitudes

E.A. Fedotova, I.V. Mingalev (mingalev_i@pgia.ru)
[1]*Polar Gephysical Institute RAS, 26a Akademgorodok, 184209 Apatiti Murmansky reg., Russia*

This paper presents the results of benchmark calculations of thermal radiation flows in the far, middle and near-infrared ranges in the Earth cloudless atmosphere at middle latitudes. Calculations are performed with the frequency resolution of 0.001 cm^{-1}. We used the approximation of the horizontally homogeneous atmosphere and took into account the molecular scattering. Molecular absorption coefficients were calculated using spectroscopic database HITRAN 2012. The new version of the discrete ordinates method was used for the numerical solution of the radiation transfer equation one-dimensional in space. In the calculations we used the grids uniform in height with the 250 m step and in zenith angle with a step of less than 9 .

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 13-01-00063).

Моделирование ИК-фонового излучения атмосферы при лимбовых наблюдениях

Осипов В.М. (v.osipov@list.ru)
Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, *188540* Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Цель работы – математическое моделирование фонового излучения земной атмосферы, регистрируемого ИК-приборами при лимбовых наблюдениях в космосе. Интересующий диапазон тангенциальных высот H касательной трассы – от 30 до 300 км. В этом диапазоне H фоновое излучение формируется как непосредственно собственным тепловым излучением верхних слоев атмосферы, попадающим в поле зрения прибора, так и внеосевым тепловым излучением, рассеянном на оптических элементах прибора. Вклад зодиакального излучения в данной работе не рассматривался. Для расчетов собственного теплового излучения атмосферы использовались алгоритмы, представленные в работах [1, 2]. Оценки вклада радиации, рассеянной на оптических элементах, проводились с использованием экспериментальных и теоретических данных о величине коэффициентов рассеяния, представленных в [3]. В этой работе исследованы засветки, обусловленные дифракцией и рассеянием на первом и втором зеркалах радиометра SPIRIT III [4]. Эти засветки проявляются как широкий внеосевой источник вне поля зрения (1 градус) радиометра и формируют фоновый сигнал при H > 90–150 км.

Анализ выполненных расчетов показал удовлетворительное согласие полученных результатов с экспериментальными данными [3, 4]. В отдельных интервалах тангенциальных высот (при H = 80–100 км для осевой радиации и H > 150 км для внеосевой) наблюдается некоторое превышение экспериментальных значений над результатами наших расчетов, что, скорее всего, объясняется эффектами нарушения условий ЛТР, не учтенными в наших расчетах.

1. Kneizys F.X., Abreu L.W., Anderson et al. *The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model* // PL/GPOS, Hansom AFB, MA 01733010, Contract F1962891C0132. 1996. 260 pp.
2. Осипов В.М., Борисова Н.Ф. Поглощение и излучение инфракрасной радиации атмосферой на протяженных наклонных трассах. Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 9. С. 35–45.
3. O'Neil R.R., Gibson J., Richards E. Midcourse Space Experiment: Off-Axis Rejection Performance of the Infrared Sensor // *J. Spacecraft and Rockets*. 2006. V. 43. № 6. P. 1347–1358.
4. Mill J.D., O'Neil R.R., Price S. et. al. Midcourse Space Experiment: Introduction to the Spacecraft, Instruments, and Scientiflc Objectives. *J. Spacecraft and Rockets*. 1994. V. 31. № 5. P. 900–907.

Simulation of atmospheric infrared background radiation in Earth limb observations

V.M. Osipov (v.osipov@list.ru)
Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering, Sosnovy Bor, Leningrad region, 188540, Russia

The purpose of the work is the mathematical modeling of the atmospheric background radiation recorded by IR space-based sensors in limb measurements. The range of tangential altitudes (*H*) of our interest is 30 to 300 km. In this altitude range, the background radiation is formed both by the direct thermal self-radiation of upper atmosphere that comes into the view of the devices, and by the off-axis thermal radiation scattered by optics of the device. The contribution of zodiac radiation is not considered in this work. To calculate the atmospheric thermal self-radiation the algorithms presented in [1, 2] are used. Estimation of contribution of stray radiation scattered by optics contaminants is made by experimental and theoretical data on the magnitude of scattering coefficients presented in [3]. The stray lights caused by diffraction and scattering at the first and second mirrors of SPIRIT III radiometer [4] are investigated in the work. These stray lights appear as an off-axis wide source outside the field of view (1 degree) of the radiometer, and form a background signal at *H* > 90–150 km.

Analysis of the calculations shows satisfactory fit of the results with experimental data [3, 4]. In some intervals of tangential altitudes (at H = 80–100 km for axial radiation and H > 150 km for off-axis radiation), the slight excess of the experimental values over the results of our calculations is observed that is most likely due to the non-LTE ignored in our calculations.

1. Kneizys F.X., Abreu L.W., Anderson et al. *The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model* // PL/GPOS, Hansom AFB, MA 01733010, Contract F1962891C0132. 1996. 260 pp.
2. Osipov V.M., Borisova N.F. Absorption and emission of IR-radiation on long slant paths. Optical J. 2014. V. 81. № 9. P. 35–45 (in Russian).
3. O'Neil R.R., Gibson J., Richards E. Midcourse Space Experiment: Off-Axis Rejection Performance of the Infrared Sensor // *J. Spacecraft and Rockets*. 2006. V. 43. № 6. P. 1347–1358.
4. Mill J.D., O'Neil R.R., Price S. et. al. Midcourse Space Experiment: Introduction to the Spacecraft, Instruments, and Scientiflc Objectives. *J. Spacecraft and Rockets*. 1994. V. 31. № 5. P. 900–907.

Аэрозольное наполнение средней атмосферы по данным Сибирско-дальневосточной лидарной сети

Черемисин А.А.[1,2] (aacheremisin@gmail.com), Маричев В.Н.[3,4], Новиков П.В.[2], Николашкин С.В.[5], Бычков В.В.[6], Щевцов Б.М.[6]

[1]Сибирский федеральный университет, пр. Свободный *79, 660041* Красноярск, Россия
[2]Институт железнодорожного транспорта, ул. Ладо Кецховели *89, 660028* Красноярск, Россия
[3]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пр. Ак. Зуева *1, 634021* Томск, Россия
[4]Томский государственный университет, пр. Ленина *36, 634050* Томск, Россия
[5]Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина *31, 677980* Якутск, Россия
[6]Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, ул. Мирная *7, 684034* Паратунка, Камчатка, Россия

В настоящее время в Сибири и на Дальнем Востоке действует сеть стратосферных лидарных станций: в Томске, Якутске и на Камчатке. Одной из основных задач этих станций является мониторинг вертикальной структуры аэрозоля в верхней тропосфере, стратосфере и мезосфере. Привлечение ассимилированных данных UK MetOffice по скоростям ветра и температуре позволило связать наблюдаемые аэрозольные слои с различными источниками аэрозоля в атмосфере. Анализ происхождения аэрозольных слоев проводился путем расчета обратных траекторий, начиная с места и момента наблюдений, на основе разработанного нами программного пакета. Результаты наших расчетов были на ряде примеров подтверждены расчетами по данным GDAS в пакете HYSPLIT, доступном на сайте NOAA.

В результате исследований были выделены несколько типов аэрозоля и его источников для различных сезонов и высот аэрозольных слоев. Следующее поведение аэрозоля является типичным. Летом аэрозоль в стратосфере практически отсутствует. В зимне-весенний период, например, над Томском наблюдается заметное аэрозольное наполнение стратосферы. Это зимний фоновый аэрозоль. В зимнее время зарегистрировано несколько случаев наблюдения полярных стратосферных облаков (ПСО). Эти ПСО были принесены из Скандинавии или региона Северный Урал-Новая Земля, где температура воздушных масс опускалась ниже пороговых значений, соответствующих образованию ПСО. Появление стратосферного аэрозоля над этими областями подтверждается данными спутникового лидара CALIPSO. В летнее время в стратосфере эпизодически наблюдались слабые пики аэрозольного рассеяния на высотах около 20 км. Появление аэрозоля на этих высотах связано с его выносом из тропического аэрозольного резервуара, описанного Хитчманом. В последние годы возросла вулканическая активность в северном полушарии. После многих крупных извержений в Томске наблюдались аэрозольные слои вулканического происхождения. Вулканическое происхождение аэрозоля подтверждалось расчетом обратных траекторий.

Начиная с 2007 года на Камчатке были начаты лидарные наблюдения верхней стратосферы и мезосферы, где были обнаружены аэрозольные слои на высотах 35–50 км и 60–75 км. Положение этих слоев может быть объяснено возникновением гравитофотофоретической силы, под действием которой частицы способны левитировать на этих высотах. Над Камчаткой были также зарегистрированы серебристые облака. Были

также случаи наблюдения аэрозоля метеоритного происхождения. Изучение переноса аэрозоля после падения Челябинского метеорита было проведено с помощью более обшей лидарной сети, включающей лидарные стации в Обнинске и Москве.

Авторы благодарны Метеорологической службе Великобритании (UK Meteorological Office) за представленные данные.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-05-01036а).

Aerosol filling of the middle atmosphere according to Siberian-fareastern lidar network data

A.A. Cheremisin (aacheremisin@gmail.com)[1,2], V.N. Marichev[3,4], P.V. Novikov[2], S.V. Nickolashkin[5], V.V. Bychkov[6], B.M. Shvetsov[6]

[1]*Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., 660041 Krasnoyarsk, Russia*
[2]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ak. Zuev pr., 634021 Tomsk, Russia*
[3]*Railway Transport Institute, 89 Lado Ketschoveli str., 660028 Krasnoyarsk, Russia*
[4]*Tomsk State University, 36 Lenin str., 634050 Tomsk, Russia*
[5]*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin av., 677980 Yakutsk, Russia*
[6]*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, 7 Mirnaya str., 684034 Paratunka, Kamchatka, Russia*

At present a lidar network operates in Siberia and Far East: in Tomsk, Yakutsk and Kamchatka. Aerosol vertical structure monitoring in the upper troposphere, the stratosphere and the mesosphere are the main objectives of these stations. Investigation of assimilated data on the wind velocity and temperature from UK MetOffice has enabled to find correlations between observed aerosol layers with different sources of aerosol in the atmosphere. Aerosol layers origin analysis was carried out by back trajectories calculation, that started from the time and the point of observation on the basis of software package that we developed. Our calculation results concerning a number of cases have been confirmed by calculations based on GDAS data in HYSPLIT package, available on NOAA site.

The investigation has enabled to identify a number of aerosol types and its sources for different seasons and aerosol layers altitudes. The following features of aerosol occurrence are typical. The aerosol is almost absent in the stratosphere in summer. A significant aerosol filling of the atmosphere over Tomsk is observed in winter and summer seasons. This is the winter background aerosol. A few cases of polar stratospheric clouds have been registered in winter time. These polar stratospheric clouds were transferred from Scandinavia or Northern Ural-Novaya Zemlya region, where the air mass temperature decreased beyond threshold values, corresponding to polar stratospheric clouds formation. The occurrence of stratospheric aerosol over these areas was confirmed by CALIPSO satellite lidar data. Small peaks of aerosol distribution at altitudes of about 20 km were occasionally observed in the stratosphere in summer time. The aerosol occurrence at these altitudes took place because of its shift from the tropical aerosol reservoir, described by Hitchman. The volcanic activity in the Northern hemisphere has increased over the last few years. The aerosol layers of volcano origin were observed over Tomsk after a number of large volcano eruptions. The aerosol volcanic origin was confirmed by back trajectories calculations.

The lidar observations of the upper stratosphere and the mesosphere have been carried out since 2007 in Kamchatka, where aerosol layers at altitudes of 35–50 km and 60–75km have been discovered. The location of these layers could be explained by the occurrence of gravitophotophoretic force, due to which particles are capable of levitating at this altitudes. Noctilucent clouds were also registered over Kamchatka. Cases of meteorite origin aerosol were also observed. The investigation of aerosol transfer after the falling of Chelaybinsk meteorite was implemented by the means of wider lidar network, including lidar stations in Obninsk and Moscow.

Authors are grateful to UK Meteorological office for provided data.

The scientific paper is implemented with financial support of RFBR (project 13-05-01036a).

Параметризация основных микрофизических, оптических и радиационных характеристик облачности смешанного фазового состава

Петрушин А.Г. (petrushin-2005@mail.ru)
Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ «МИФИ», Студгородок, *1, 249040* Обнинск Калужской обл., Россия

При определении возможности параметризации оптических и радиационных характеристик смешанного облака использовалась ранее предложенная нами модель микроструктуры для этого облака, содержащего ледяные кристаллы и водные капли, равномерно перемешанные по объему [1–3]. Расчеты необходимых для определения радиационных характеристик облаков (альбедо облачного слоя и коэффициента пропускания), основных оптических характеристик рассеянного излучения для кристаллической фракции смешанного облака (среднего косинуса индикатрисы рассеяния, факторов и показателей эффективности ослабления, рассеяния и поглощения излучения) были выполнены с помощью приближенных методов [1]. Предложенная параметризация основных оптических характеристик смешанных облаков в диапазоне длин волн падающего излучения от 6.0 до 120 мкм в зависимости от средней температуры облачного слоя *T*, средних размеров облачных частиц различных форм (водных капель, ледяных гексагональных кристаллов) и отношения их концентраций показала существенную их изменчивость от размеров оптически активных водных капель (модальные радиусы охлажденных капель лежат в интервале r_m = 1–4 микрон). Выполненные нами расчеты указанных радиационных характеристик также показали их значительные вариации в зависимости от размеров водных капель.

Основываясь на работах [4, 5], рассмотрено несколько возможных вариантов изменения размеров водных капель при вариации температуры облачных слоев. Для указанных вариантов получены аппроксимационные зависимости рассмотренных оптических характеристик смешанной облачности в зависимости от ее температуры.

1. Петрушин А.Г. Рассеяние и поглощение оптического излучения в кристаллической облачной среде // Вопросы физики облаков. Ред. Семенов Л.П. Санкт- Петербург: Гидрометеоиздат. 1998. С. 118–149.
2. Petrushin A.G. Main optical characteristics of light scattering by mixed-phase clouds // *Izv. Atm. Oceanic Physics*. 2001. V. 37. № 1. P. 149–156.
3. Облака и облачная атмосфера. Справочник. Ред. Мазин И.П., Хргиан А.Х. Ленинград: Гидрометеоиздат. 1989. 647 с.
4. Sundqvist H. Inclusion of ice phase of hydrometeors in cloud parameterization for mesoscale and largescale models. *Beitr. Phys. Atm.* 1993. V. 66. P. 445–453.
5. Акимов И.В. Метод расчета интенсивности осадков на основе параметризации микрофизических процессов в облаках капельного и смешанного фазового состава. Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 4. С. 458–465.

The parameterization of basic microphysical, optical and radiative characteristics of cloud with the mixed-phase structure

A.G. Petrushin (petrushin-2005@mail.ru)
National Research Nuclear University "MEPhI", Obninsk Department, 1 Studgorodok, 249040 Obninsk, the Kaluga region,

For determining the possibility of parameterization of optical and radiative characteristics of mixed clouds, the microstructure model of these clouds containing ice crystals and water droplets mixed on volume previously proposed by us was used [1–3]. The calculations required to determine the radiative characteristics of mixed-phase clouds (a cloud layer albedo and transmission factor) of the main optical characteristics of light scattering for the crystalline fraction of the mixed-phase cloud (asymmetry parameter of the scattering phase function, scattering, absorption and extinction efficiencies factors and coefficients) were performed using approximate methods [1]. The proposed parameterization of main optical characteristics for mixed-phase clouds for separate wavelengths in the range from 0.6 to 12.0 µm, depending on the mean temperature of the cloud layer, average

particle sizes for their different shapes (water droplets and hexagonal ice crystals) and the ratio of their concentrations showed significant variability of above-mentioned characteristics of optically active water droplets sizes (modal radius of the overcooled water drops are in the interval of r_m = 1–4 μm). Our computations specified radiative characteristics also showed their considerable variation depending on the sizes of the water droplets.

Based on the works [4, 5], we considered some number of possible variations for changing the size of water droplets when the mixed-cloud layers temperature was changed. For these variations the considered mixed-phase clouds optical characteristics approximations depending on mixed-phase cloud temperature were obtained.

1. Petrushin A.G. Scattering and absorption of optical radiation in a crystalline cloudy medium // In *Problems of the physics of clouds*. Ed. by Semenov L. P. St. Petersburg: Gidrometeoizdat. 1998. P. 118–149 (in Russian).
2. Petrushin A.G. Main optical characteristics of light scattering by mixed-phase clouds // *Izv. Atm. Oceanic* Physics. 2001. V. 37, № 1. P. 149–156.
3. *Clouds and cloudy atmosphere*. Handbook. Ed. by Mazin I.P. and Khrgian A.Kh. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1989. 647 p. (in Russian).
4. Sundqvist H. Inclusion of ice phase of hydrometeors in cloud parameterization for mesoscale and largescale models. *Beitr. Phys. Atm.* 1993. V. 66. P. 445–453.
5. Akimov I.V. The method of calculating the intensity of rainfall based on microphysical processes parameterization in the clouds of liquid and mixed-phase composition. *Izv. Atm. Oceanic Physics*. 2003. V. 3. № 4. P. 458–465 (in Russian).

О решении обратной задачи аэрозольного светорассеяния по данным измерений яркости неба в плоскости солнечного вертикала

Свириденков М.А.[1] (sviridenkov@ifaran.ru), Бедарева Т.В.[2], Журавлева Т.Б.[2]

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

[2]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева *1, 634055* Россия, Томск, Россия

Наземная фотометрия солнца и дневного безоблачного неба является наиболее распространенным и наименее затратным методом исследования свойств аэрозоля в толще атмосферы. Фотометры CIMEL, установленные на станциях международной сети AERONET, позволяют в автоматическом режиме проводить измерения нисходящей рассеянной радиации в диапазоне спектра 0.44–1.02 мкм в двух разных конфигурациях: в альмукантарате Солнца и в плоскости солнечного вертикала (ПСВ). Большинство известных алгоритмов решения обратной задачи аэрозольного светорассеяния относятся к первой схеме визирования, в то время как данные измерений яркости в плоскости вертикала пока не стали объектом массовой обработки. Одной из причин ограниченного использования данных измерений яркости в ПСВ является облачность, автоматическая идентификация и устранение эффектов которой при данной геометрии визирования представляет собой нетривиальную задачу. Кроме того, в отличие от яркости в альмукантарате, яркость неба в ПСВ в гораздо большей степени зависит от вертикальной стратификации оптических параметров атмосферы, информация о которой для конкретного измерения, как правило, отсутствует. Между тем, измерения второго типа являются важным источником информации о свойствах аэрозоля в столбе атмосферы. Главным преимуществом использования ПСВ по сравнению с альмукантаратом при малых зенитных углах Солнца является более широкий диапазон углов рассеяния. Обращение данных таких измерений позволит повысить статистическую репрезентативность околополуденных ситуаций в летнее время в ансамбле восстановленных микрофизических и радиационных характеристик аэрозоля.

В работе представлены результаты моделирования яркости неба в ПСВ в различных атмосферных условиях. Показано, что при расчетах яркости неба в ПСВ вертикальной стратификацией индикатрисы рассеяния и альбедо однократного рассеяния можно в первом приближении пренебречь. Неучет вертикальной стратификации коэффициента аэрозольного ослабления даже в фоновых состояниях атмосферы может привести к существенным

ошибкам в расчетах яркости. Представлена общая схема разработанного алгоритма решения обратной задачи аэрозольного светорассеяния по данным измерений яркости неба в ПСВ, обеспечивающего восстановление таких параметров аэрозоля как альбедо и индикатриса однократного рассеяния, распределение частиц по размерам, а также комплексного показателя преломления аэрозольного вещества. Приведены результаты сопоставления аэрозольных характеристик, восстановленных по расчетным данным «измерений» яркости неба в двух геометриях визирования.

Анализ результатов численных экспериментов в фоновых условиях атмосферы показал, что даже при использовании простых реалистичных моделей вертикальных профилей коэффициента аэрозольного ослабления, решение обратной задачи по данным измерений яркости неба в ПСВ не уступает по точности и надежности решению обратной задачи по данным измерений в солнечном альмукантарате.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (Проект 13-05-00956).

On the solution of the inverse problem of light scattering from data of sky radiance measurements in the solar principle plane

M.A. Sviridenkov[1] (sviridenkov@ifaran.ru), T.V. Bedareva[2], T.B. Zhuravleva[2]
[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*

Ground-based photometry of Sun and cloudless sky is the most common and least expensive method for studying the properties of aerosols in the atmospheric column. CIMEL CE 318 photometers, installed at the stations of the international AERONET network, allow to measure in automated mode the downward diffuse radiation in the spectral range of 0.44–1.02 m in two different configurations: in the solar almucantar and in the solar principle plane (SPP). Most of the known algorithms for solving the inverse problem of the aerosol light scattering refer to the first viewing geometry, while the data of the sky radiance measurements in the principle plane are not the subject of a mass processing yet. One of the reasons for the limited use of the data of sky radiance measurements in the SPP is cloudiness, automated identification and elimination of the effects of which at a given geometry of viewing is not a trivial problem. Furthermore, unlike the almucantar, the sky radiance in the SPP much more depends on the vertical stratification of the optical parameters of atmosphere, on which information for a particular measurement, is usually absent. Meanwhile, measurements of the second type are an important source of the information about the properties of aerosols in the atmospheric column. The main advantage of the SPP using, compared to the solar almucantar at small solar zenith angles, is a wider range of scattering angles. Inversion of these data might improve the statistical representativeness of near-meridian situations in the summer in the ensemble of retrieved microphysical and radiative aerosol characteristics.

The results of the simulation of the sky radiance in the SPP at different atmospheric conditions are presented. It is shown that in calculations of sky radiance in the SPP, the vertical stratification of the scattering phase function and the single scattering albedo can be neglected in the first approximation. Neglect of the vertical stratification of the aerosol extinction coefficient, even at background state of the atmosphere, can lead to significant errors in the calculation of sky radiance. The general scheme of the algorithm for solving the inverse problem of the aerosol light scattering basing on the measurements of the sky radiance in the SPP, providing retrieving such aerosol parameters as the single scattering albedo and phase function, particle size distribution, as well as the complex refractive index of the aerosol matter, is presented. The results of the comparison of aerosol characteristics, recovered from the simulated measurement data in two geometries of viewing, are given.

Analysis of the results of numerical experiments at background atmospheric conditions has shown that even with the use of simple realistic models of vertical profiles of aerosol extinction coefficient, the inverse problem solution, based on measurements of the sky radiance in the SPP is

not inferior in accuracy and reliability of the solution of the inverse problem based on measurements in the solar almucantar.

This work was partially supported by RFBR (project 13-05-00956).

Результаты измерений аэрозольного и газового состава атмосферы на маршрутах НЭС «Академик Федоров» и «Академик Трешников» в период работ 59 Российской антарктической экспедиции

Радионов В.Ф.[1] (vradion@aari.ru), Сибир Е.Е.[1], Кабанов Д.М.[2], Полькин В.В.[2], Савкин Д.Е.[2], Сакерин С.М.[2]

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

[2]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, *634021* Томск, Россия

В период сезонных наблюдений 59 Российской антарктической экспедиции (РАЭ) на НЭС «Академик Трешников» (01.02–09.06.2014 г.) и «Академик Федоров» (05.11.2013–16.05.2014) были продолжены циклы измерений оптических и микрофизических характеристик аэрозоля: аэрозольной оптической толщи (АОТ) в диапазоне спектра 0.34–2.14 мкм; массовой и счетной концентрации аэрозоля; массовой концентрации «сажи» в приводном слое воздуха, а также общего содержания озона. На НЭС «Академик Трешников» дополнительно измерялись приводные концентрации малых газовых составляющих (МГС) атмосферы – CO, NO, NO_2, SO_2 и O_3.

По результатам анализа характеристик пространственного распределения аэрозольной и газовых составляющих атмосферы по маршрутам движения судов в акваториях Атлантического и Южного океанов выделены четыре широтные зоны – «Европа» (30–55 с.ш.), «Северный тропик» (0–30 с.ш.), «Южный тропик» (0–30 ю.ш.), «Антарктика» (> 50 ю.ш.), – в которых исследуемые характеристики более или менее однородны. Проведено сравнение результатов, полученных на прямом (зима) и обратном (весна) маршрутах НЭС «Академик Трешников», а также со средними значениями параметров аэрозоля в периоды работ 51–58 РАЭ (2005–2012 гг.). Оказалось, что пространственное распределение характеристик аэрозоля, полученных в 59 РАЭ, хорошо согласуется с многолетними данными. В целом, средние значения параметров убывают по районам в последовательности: «Северный тропик» – «Европа» – «Южный тропик» – «Антарктика». Например, средние значения АОТ (0.5 мкм) в этих районах составляют 0.266, 0.166, 0.094 и 0.02, соответственно (на ст. Мирный – 0.019). Вместе с тем, в распределении по районам средних концентраций аэрозоля проявляются сезонные отличия – на обратном маршруте (весна) – самые большие значения наблюдались в зоне «Южный тропик».

В изменении приземной концентрации озона (ПКО) при движении судна от умеренных широт северного полушария до Антарктиды (февраль–март) проявился пятикратный спад ПКО, что согласуется с данными ранее проведенных исследований. На обратном маршруте (вторая половина апреля–май) широтное распределение под влиянием сезонного фактора трансформировалось: средний уровень ПКО в северном и южном полушарии стал практически одинаковым – в среднем 30 мкг/м^3.

В поведении концентраций других МГС отмечены следующие особенности: (a) самый большой диапазон широтно-сезонного изменения концентраций у NO – почти два порядка, концентрация NO_2 изменялась в 18 раз, CO и SO_2 – около 8 раз; (b) общим для NO, NO_2 и CO являются более высокие концентрации в северном полушарии с максимальными значениями в зоне «Северного тропика» и немного ниже в районе «Европа»; (c) среднее различие северное/южное полушарие в концентрациях NO составляет 85 раз, CO – 5.7 раз, NO_2 – 2.3 раза, SO_2 – 1.2 раза; (d) отличительной особенностью SO_2 является рост концентраций от высоких широт к экватору, как на прямом, так и обратном маршруте.

Исследования проводятся при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН №18 (23).

Results of measurements of aerosol and gas composition of the atmosphere along the routes of RVS "Akademik Fedorov" and "Akademik Treshnikov" in period of 59th Russian antarctic expedition

V.F. Radionov[1] (vradion@aari.ru), E.E. Sibir[1], D.M. Kabanov[2], V.V. Polkin[2], D.E. Savkin[2], S.M. Sakerin[2]

[1]*Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 St. Petersburg, Russia*

[2]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*

In the period of seasonal observations during 59th Russian Antarctic Expedition (RAE) onboard RVs "Akademik Treshnikov" (February 1–June 9, 2014) and "Akademik Fedorov" (November 5, 2013–May 16, 2014), we continued the cycles of measurements of optical and microphysical aerosol characteristics: aerosol optical depth (AOD) in the wavelength range of 0.34–2.14 μm; aerosol mass and number concentrations; "black carbon" mass concentration in the near-water air layer, as well as the total ozone content. Concentrations of minor gas constituents (MGCs) of the atmosphere, i.e., CO, NO, NO_2, SO_2, and O_3, were additionally measured onboard RV "Akademik Treshnikov".

By analyzing the characteristics of the spatial distribution of aerosol and gas constituents of the atmosphere along the vessel routes in water basins of the Atlantic and South Oceans, we singled out four latitude zones, namely, "Europe" (30–55 N), "Northern tropic" (0–30 N), "Southern tropic" (0–30 S), and "Antarctica" (> 50 S), in which the studied characteristics are homogeneous, to some degree. We compared the results obtained on the forward (winter) and backward (spring) routes of RV "Akademik Treshnikov"; also, we compared them with average values of aerosol parameters in periods of measurements during 51st–58th RAE (2005–2012). It was found that the spatial distribution of aerosol characteristics, obtained in 59th RAE, well agrees with multiyear data. On the whole, the regions are arranged as follows, in order of decreasing average parameter values: "Northern tropic" – "Europe" – "Southern Tropic" – "Antarctica". For instance, the average AOD values (0.5 μm) in these regions are 0.266, 0.166, 0.094, and 0.02, respectively (0.019 at the Mirny station). At the same time, the distribution of mean aerosol concentrations over the regions exhibits seasonal differences: the largest values were observed in the zone "Southern tropic" on backward route (spring).

As the vessel moved from Northern Hemisphere midlatitudes to Antarctica (February–March), near-ground ozone concentration (NOC) decreased fivefold, in agreement with earlier studies. On the backward route (the second half of April–May), the latitudinal distribution had been transformed under the influence of seasonal factor: the average NOC level had been practically the same in Northern and Southern Hemispheres, i.e., 30 $\mu g/m^3$, on the average.

In the behaviors of concentrations of other TGCs, there were the following specific features: (a) the NO concentrations showed the widest (almost two orders of magnitude) latitudinal-seasonal variability range, the NO_2 concentration varied by a factor of 18, and CO and SO_2 concentrations varied by about a factor of 8; (b) a common feature for NO, NO_2, and CO was that their concentrations were higher in the Northern Hemisphere, with maximal values in the zone of the "Northern tropic" and somewhat lower values in the region of "Europe"; (c) the average Northern/Southern Hemisphere difference is a factor of 85 for concentrations of NO, a factor of 5.7 for CO, a factor of 2.3 for NO_2, and a factor of 1.2 for SO_2; (d) a salient feature of SO_2 is that its concentration grows from high latitudes to equator, both on the forward and backward routes.

Studies are performed under the support the Program of Basic Research of Presidium of the Russian Academy of Sciences no. 18.

Выбросы черного углерода в атмосферу с территории России: антропогенные источники и природные пожары

Виноградова А.А.[1] (anvinograd@yandex.ru), Смирнов Н.С.[2], Коротков В.Н.[2], Романовская А.А.[2]

[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия
[2]Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, Глебовская *20б, 107258* Москва

Оценки пространственного распределения выбросов черного углерода (black carbon – BC) основаны на данных официальной статистики об эмиссиях в атмосферу окиси углерода (CO) и BC от городов и регионов России, публикуемой Министерством природных ресурсов и экологии РФ [1]. Основное предположение – пропорциональность эмиссий CO и BC (отдельно от стационарных источников и от наземного транспорта) в пределах каждого региона. В анализ включены 54 региона и почти 100 городов России, расположенных в пределах (50 –72 с.ш. x 20 –180 в.д.), что составляет 94% ее территории. Сумма выбросов антропогенного BC оценена в (210 ± 30) тыс.т/год [2] – для 2010 года. В том числе, учтено пространственное расположение факелов сжигания попутного газа, связанных с предприятиями нефте- и газодобывающей промышленности северных районов России, суммарные эмиссии BC которых в атмосферу оценены в (25 ± 8) тыс.т/год.

Выполнены оценки выбросов BC от природных пожаров в лесах России за период 2000–2013 гг. с использованием данных Федерального агентства лесного хозяйства РФ (Рослесхоз) [3]. Учитывается площадь различных типов пожаров (верховые, низовые, подземные, а также травяные на нелесных и непокрытых лесом землях), их сезонные и межгодовые вариации. Выбросы BC оценены по федеральным округам РФ для разных типов пожаров с учетом запасов доступного для горения органического вещества и с использованием коэффициентов сгорания органического вещества из [4] и коэффициентов эмиссии из [5]. Средняя суммарная эмиссия BC от природных пожаров на территории России в тех же границах, для которых рассмотрены антропогенные источники, оценена в 30 тыс.т/год при вариациях от года к году от 4 до 100 тыс.т/год. Полученные результаты оценок антропогенных и пожарных эмиссий адаптированы на сетке (1 x 1) для модельных расчетов дальнего атмосферного переноса BC и прогнозирования связанных с ним климатических и экологических эффектов.

Проведены расчеты (для 2000-х годов) влияния антропогенных источников и природных пожаров на содержание BC в атмосфере и в потоках вещества на поверхность вблизи нескольких природных заповедников на побережье Северного Ледовитого океана. Использованы расчеты [6] функции чувствительности к источникам примесей, переносимых в атмосфере на субмикронных аэрозолях (антропогенные тяжелые металлы, BC и др.), Показано, что в среднем в Арктике даже летом вклады антропогенных источников на порядок и более превосходят вклады эмиссий BC от пожаров на территории РФ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты 14-05-00059 и 14-05-93089.

1. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / Под ред. А.Ю. Недре. СПб: ОАО «НИИ Атмосфера». 2011. 560 с.
2. Виноградова А.А. Эмиссии антропогенного черного углерода в атмосферу: распределение по территории России // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 12. С. 1059–1065.
3. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства РФ (Рослесхоз). http://www.aviales.ru/
4. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. Т. 4. Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. МГЭИК, 2006.
5. Akagi S.K. et al. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. V. 11. P. 4039–4072.
6. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территорий // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 4. С. 5–20.

Black carbon atmospheric emissions: anthropogenic sources and natural fires in Russia

A.A. Vinogradova[1] (anvinograd@yandex.ru), N.S. Smirnov[2], V.N. Korotkov[2], A.A. Romanovskaya[2]

[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*Institute of Global Climate and Ecology Roshydromet and RAS, 20b Glebovskaya ul., 107258 Moscow*

Estimates of spatial distribution of black carbon (BC) emissions is based on official statistical data (Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation) on air pollution in Russian cities and regions [1]. In the calculations, carbon monoxide (CO) and BC emission data were used for every administrative unit (separately from transport and stationary sources) under the assumption of their proportional correlations. 54 regions and almost 100 cities are included in the analysis. We have considered area within (50 –72) N and (20 –180) E, which covers about 94% of the Russian territory. The total annual BC emission from this area is estimated as (210 ± 30) Gg in 2010 [2], including emissions from open flaring of associated gas which are about (25 ± 8) Gg/yr. The significant anthropogenic BC sources are situated in industrial regions in the center of European Russia, in the South of Ural and Western Siberia, as well as on the large underpopulated Western Siberian territories with natural oil/gas extractive industry.

Estimates of BC emissions from natural fires are based on the official data of Federal Forestry Agency of the Russian Federation [3] for the period 2000–2013. Natural fires of different types (crown, ground and underground fires in forests and fires on non-forest lands) are analyzed, as well as their seasonal and spatial variations. BC emissions were calculated for every administrative unit using regional data on fuel available for combustion, the combustion factor [4] and the emission factors for different types of burning [5]. The total average annual BC emission from the same Russian territory as for the analysis of anthropogenic sources is estimated as high as 30 Gg with high variations (4–100 Gg/yr) from year to year. Both anthropogenic and fire BC emissions have been adapted to grid cells (1 x 1) for modeling and forecasting the long-range atmospheric transfer, climate and ecological effects.

Using the approach [6] (decadal back-trajectory analysis + spatial distribution of the sensitivity to pollution emissions) we estimated anthropogenic and fire contributions to BC air concentrations in different points of Russian Arctic. Averaged (for 14 years) BC impact from natural fire BC emissions to the Russian Arctic environment is considerably (more than 10 times) less of anthropogenic contribution, even in summer.

The work was supported by RFBR, grants No. 14-05-00059 and 14-05-93089.

1. Yearbook 2010 on Atmospheric Emissions of Pollution in Towns and Regions of Russian Federation / St. Petersburg: “Atmosphere”. 2011. 560 p. (in Russian).
2. Vinogradova A.A. Anthropogenic Black Carbon Emissions to the Atmosphere: Surface Distribution through Russian Territory // *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2015. Vol. 28. № 2. P. 158–164.
3. Federal forestry Agency of Russian Federation (Rosleshoz). http://www.rosleshoz.gov.ru/; http://www.aviales.ru/
4. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html
5. Akagi S.K. et al. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. V. 11. P. 4039–4072.
6. Vinogradova A.A. Distant evaluation of atmospheric pollution influence on the remote territories // *Geofizicheskie Protsessy i Biosfera.* 2014. V. 13. № 4. P. 5–20 (in Russian).

Учет относительной влажности воздуха в модели оптических характеристик поглощающего аэрозоля

Терпугова С.А. (swet@iao.ru), Панченко М.В., Полькин В.В., Ужегов В.Н., Пхалагов Ю.А.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева *1, 634055* Томск, Россия

Относительная влажность воздуха является одним из основных параметров, обусловливающих вариации оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля. Поэтому при построении моделей оптических и радиационных характеристик аэрозоля необходим корректный учет трансформации оптических свойств частиц под воздействием относительной влажности воздуха.

В данной работе рассматривается учет гигроскопических свойств частиц в рамках развиваемой нами эмпирической модели [1–3]. Основной задачей являлось тестирование разных способов учета влияния относительной влажности на основе сопоставления расчетных характеристик с данными измерений. Аэрозоль моделировался в виде суммы двух логнормальных фракций (субмикронной и грубодисперсной) с использованием эмпирической микроструктурной модели [4]. Первый вариант модельного увлажнения состоял в аппроксимации зависимостей характеристик частиц субмикронной фракции от относительной влажности формулой Кастена-Хенела. Во втором варианте рост частиц субмикронной фракции при увлажнении рассматривался в рамках полуэмпирической теории равновесного конденсационного укрупнения частиц атмосферного аэрозоля А.Г. Лактионова [5].

Для верификации расчетов, полученные оптические характеристики сравнивались с результатами натурных измерений. В качестве опорных были использованы данные о степени поляризации рассеянного излучения, измеренного нефелометром ФАН при относительной влажности RH = 90%, и данные о коэффициентах аэрозольного ослабления, полученных из измерений спектральной прозрачности атмосферы на приземной горизонтальной трассе длиной 1 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 35.

1. Панченко М.В., Терпугова С.А., Полькин В.В. Эмпирическая модель оптических характеристик аэрозоля нижней тропосферы // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 615–624.
2. Панченко М.В., Козлов В.С., Полькин В.В. и др. Восстановление оптических характеристик тропосферного аэрозоля Западной Сибири на основе обобщенной эмпирической модели, учитывающей поглощающие и гигроскопические свойства частиц // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 1. С. 46–54.
3. Panchenko M.V., Zhuravleva T.B., Terpugova S.A. и др. An empirical model of optical and radiative characteristics of the tropospheric aerosol over West Siberia in summer // *Atmos. Meas. Tech.* 2012. V. 5. № 7. P. 1513–1527.
4. Панченко М.В., Полькин В.В. Представление о микроструктуре тропосферного аэрозоля Сибири на основе измерений оптоэлектрическим счетчиком // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т. 14. № 06–07. С. 526–537.
5. Лактионов А.Г. Равновесная гетерогенная конденсация. Л.: Гидрометеоиздат. 1988. 160 с.

The accounting of the relative humidity of air in the model of optical characteristics of the absorbing aerosol

S.A. Terpugova (swet@iao.ru), M.V. Panchenko. V.V. Pol’kin, V.N. Uzhegov and Yu.A. Pkhalagov
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, 1 Ak. Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia

Relative humidity of air is one of the main parameters that determine variations of optical and microphysical characteristics of the atmospheric aerosol. Therefore, when constructing models of optical and radiative characteristics of aerosol, a valid account of the transformation of optical properties of particles under the effect of relative humidity is required.

In this paper we consider the accounting of aerosol hygroscopic properties within the empirical model that we have developed [1–3]. The main problem is the testing of different algorithms for taking into account the effect of relative humidity on the basis of comparing the calculated characteristics with the data of measurements.

Aerosol was simulated as a sum of two lognormal fractions (submicrometer and coarse) using the empirical microstructural model [4]. The first variant of the model lied in the approximation of dependences of submicrometer particle characteristics on the relative humidity by the well-known Hanel formula. In the second variant, hygroscopic growth of particles was considered in the frameworks of the A.G. Laktionov's semi-empiric theory of equiligrium heterogeneous growth of atmospheric aerosol particles [5].

To verify the calculations, optical characteristics obtained were compared with the results of field measurements. The data on the degree of linear polarization of the scattered radiation measured by the PhAN nephelometer at relative humidity of 90% and the data on the aerosol extinction coefficients derived from measurements of the spectral transparency of the atmosphere on the 1-km long near-ground horizontal path were used as reference.

The work was supported in part by Integration grant of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences No. 35.

1. Panchenko M.V., Terpugova S.A., Pol'kin V.V. Empirical model of the aerosol optical properties in the troposphere over West Siberia // *Atm. Oceanic Opt.* 1998. V. 11. № 06. P. 532–539.
2. Panchenko M.V., Kozlov V.S., Pol'kin V.V. et al. Retrieval of optical characteristics of the tropospheric aerosol in West Siberia on the basis of generalized empirical model taking into account absorption and hygroscopic properties of particles // *Atm. Oceanic Opt.* 2012. V. 25. № 01. P. 46–54 (in Russian).
3. Panchenko M.V., Zhuravleva T.B., Terpugova S.A. et al. An empirical model of optical and radiative characteristics of the tropospheric aerosol over West Siberia in summer // *Atmos. Meas. Tech*. 2012. V. 5. № 7. P. 1513–1527.
4. Panchenko M.V., Pol'kin V.V. Microstructure of tropospheric aerosol in Siberia as judged from photoelectric particle-counter measurements // Atm. Oceanic Opt. 2001. V. 14. № 06-07. P. 478–488.
5. Laktionov A.G. *Equilibrium Heterogeneous Condensation*. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1988. 160 p. (in Russian).

Экспериментальное исследование асимптотических закономерностей эволюции атмосферного аэрозоля

Романов Н.П. (vernik@rpatyphoon.ru), Ераньков В.Г., Озолс О.И., Тюрина С.О.
НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Калужская обл., Россия

В работе представляются результаты экспериментального исследования эволюционных характеристик аэрозоля с использованием самой большой в мире аэрозольной камеры (БАК) НПО «Тайфун» объемом 3.2 10^3 м^3, в которой влияние процессов осаждения на стенки из-за больших ее размеров минимизируется. Такая возможность появилась после дооснащения измерительного оборудования электростатическим анализатором аэрозолей TSI SMPS3936 с используемым в экспериментах диапазоном измерения диаметров аэрозолей от 14 до 1000 нм и фильтром для просасываемого через БАК воздуха. Без использования этого фильтра исследуемый в ней аэрозольный состав соответствует атмосферному.

Методика исследования заключалась в измерении спектров изолированного в БАК аэрозоля в процессе его эволюции в течение 7–10 суток. Были исследованы 3 типа аэрозолей. Первый представляет нуклеационную фракцию, которая остается в БАК при продувке атмосферным воздухом через указанный выше внешний фильтр. Начальная счетная концентрация аэрозоля в исследуемом случае составила N_0 = 45 см$^{-3}$. Примерно через 2 часа после закрытия БАК сформировался спектр частиц с $N \approx 2.6\ 10^4$ см$^{-3}$ с максимумом в районе 20 нм при массовой концентрации $m = 0.1$ (мкг/м^3). Через 4 суток эволюции он трансформировался в узкий одномодальный спектр с относительной шириной $r_b \approx 0.25$ и максимумом в районе 50 нм при той же массовой концентрации. Вторым типом являлся аэрозоль атмосферного воздуха из различных синоптических ситуаций (два антициклона и

два циклона) с N_0 от 104 до 3 10^4 см$^{-3}$ и m от 10 до 30 мкг/м^3. Начальные спектры этого аэрозоля имели максимумы левее нижней границы измерений и простирались до 500 1000 нм. В этих спектрах угадывалось наличие двумодальной структуры, которая уже через несколько часов трансформировалась в одномодальную с $r_b \approx 0.4$. Дальнейшая эволюция спектров шла в направлении уменьшения счетной концентрации при увеличении среднего размера и небольшом уменьшении массовой концентрации. Третий тип аэрозоля получался при испарении водного тумана, образуемого в водокольцевом компрессоре, предназначенном для создания избыточного давления в БАК (в штатном режиме этот аэрозоль удаляется соответствующими фильтрами). Для этого аэрозоля известен химический состав, обусловленный водорастворимыми примесями уплотняющей воды, и механизм его генерации (механическое распыление). В момент закрытия БАК этот аэрозоль имел максимум в районе 20 нм при концентрации $\approx$ 2.5 10^5 см$^{-3}$.

В результате исследований были получены следующие основные результаты. Все исследованные спектры имеют положительный коэффициент асимметрии в противоположность отрицательным величинам для облачных спектров [1]. Эта ситуация объясняется отсутствием механизма испарения для коагуляционного процесса. Одномодальные спектры, которые формируются после некоторого времени (от нескольких часов до суток) могут быть аппроксимированы суммой двух из набора гамма, ln и Смирнова [1] распределений, коэффициент асимметрии которых при одинаковой относительной ширине растет по ходу их перечисления. При соответствующем подборе коэффициентов этой суммы точно описывается первый, второй и третий моменты экспериментальной функции распределения. Соотношение этих распределений устанавливается не более чем через сутки и сохраняется в процессе дальнейшей эволюции, представляя таким образом асимптотическую форму. Зависимость от времени t концентрации частиц $N(t)$ во всех исследованных диапазонах от нуля до 10 суток и более описывается соотношением вида $N(t) = N_0/(1 + a\, t_b)$. Для нуклеационного аэрозоля степень $b = 1$, что соответствует классическому для броуновской коагуляции выражению при постоянстве коэффициента коагуляции $K = a/N_0$, который для исследованного случая равен $K \approx 5\ 10^{-15}$ м^3/с. Для остальных случаев b меньше единицы и находится в районе 0.6–0.8. Это обстоятельство может объясняться уменьшением величины K во время эволюции аэрозоля при наличии большого диапазона относительных размеров частиц.

1. Romanov N., V. Erankov. Calculated and Experimental Regularities of Cloud Microstructure Formation and Evolution // *Atmospheric and Climate Sciences*. 2013. № 3. P. 301–312.

Experimental studies of asymptotic regularities of atmospheric aerosol evolution

N.P. Romanov (vernik@rpatyphoon.ru), B.G. Erankov, O.I. Ozols, S.O. Tyurina
Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Street, Obninsk, 249038, Russia

The paper presents the results of experimental studies of aerosol evolution characteristics obtained in the biggest in the world aerosol chamber (BAC) of RPA 'Typhoon' (the volume of 3,200 m^3), where the effect of particles sedimentation is minimal. Such a possibility appeared after the adding to the measurement equipment of the electrostatic aerosol analyzer TSI SMPS3936, used in the experiments for the range of aerosol diameters from 14 to 1.000 nm, and a filter for air pumped into the BAC. Without such a filter the aerosol composition in the BAC corresponds to that of the atmospheric air.

The method of investigation was in measuring the spectra of aerosol isolated in the BAC during its evolution during 7–10 days. Three types of aerosol were studied. The first type presents a nucleation fraction staying in the BAC at its blowing with atmospheric air through the above-mentioned externally located filter. The initial aerosol number concentration in this case was N_0 = 45 cm^{-3}. In about 2 hours after closing the BAC, a spectrum of particles was formed with $N \approx 2.6\ 10^4$ cm^{-3} and the maximum in the range of 20 nm at the mass concentration m = 0.1 g/m^3. In

4 days of evolution it was transformed into a narrow unimodal spectrum with a relative breadth $r_b \approx 0.25$, the maximum at 50 nm and the same mass concentration. The second type of aerosol is the aerosol from atmospheric air taken at different synoptic situations (two anticyclones and two cyclones) with N_0 from 104 to 3 10^4 cm^{-3} and m from 10 to 30 g/m^3. Initial spectra of this aerosol had maxima located to the left of the lower measurement limit and extended to 500–1,000 nm. The existence of bimodal structure was likely to be present. This structure turned into the unimodal one with $r_b \approx 0.4$ in several hours. Further evolution of these spectra was directed towards decreasing the number concentration at increasing the average size and a small decrease of mass concentration. The third aerosol type is obtained at evaporation of water fog formed in the water-annular compressor designed for creation of excessive pressure in the BAC (in standard conditions this aerosol is removed by corresponding filters). For this aerosol, its chemical composition depending on water-soluble mixtures of compressing water is known along with the mechanism of its generation (mechanical spraying). At the moment of closing the BAC this aerosol had maximum near 20 nm at the concentration $\approx 2.5\ 10^5$ $см^{-3}$.

The following results have been obtained. All the spectra studied have the positive coefficient of asymmetry in contrast to negative values for cloud spectra [1]. This situation is explained by the absence of an evaporation mechanism for coagulation process. Unimodal spectra formed after some time (from several hours to a day) may be approximated by the sum of two from the set of gamma, Ln and Smirnov's [1] distributions, the symmetry coefficient of which at the same relative breadth increases during their enumeration. At a corresponding adjustment of the coefficients in this sum, the first, second and third moments of experimental distribution function are accurately described. The correlation of these distributions is set not longer than in a day and is sustained during further evolution having thus an asymptotic form. The dependence of particle concentration $N(t)$ on time t in all the ranges studied from zero to 10 days and more is described by the relationship like $N(t) = N_0/(1 + a\ t_b)$. For the nucleation aerosol the power $b = 1$, that corresponds to the classical expression for Brownian coagulation at a constant coagulation coefficient $K = a/N_0$, that for the case studied is equal to $K \approx 5\ 10^{-15}$ m^3/s. For other cases b is less than unity and is in the region of 0.6–0.8. This obstacle is explained by a decrease of K during aerosol evolution in the presence of large range of particles.

1. Romanov N., V. Erankov. Calculated and Experimental Regularities of Cloud Microstructure Formation and Evolution // *Atmospheric and Climate Sciences*. 2013. № 3. P. 301–312.

Московская дымная мгла осенью **2014** г.

Горчаков Г.И.[1] (gengor@ifaran.ru), Копейкин В.М.[1], Ситнов С.А.[1], Семутникова Е.Г.[2], Свириденков М.А.[1], Карпов А.В.[1], Лезина Е.А.[2], Емиленко А.С.[1], Исаков А.А.[1], Пономарева Т.Я.[3], Кузнецов Г.А.[1]

[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. д. *3, 119017* Москва, Россия

[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Воробьевы горы *1, 119991* Москва, Россия

[3]Гидрометцентр России, Б. Предтеченский пер. *11–13, 123242* Москва, Россия

Проанализированы вариации оптических и микрофизических свойств дымового аэрозоля при пожарах в бореальных лесах России и Канады. Альбедо однократного рассеяния дымового аэрозоля во время лесных пожаров на европейской территории России и в Сибири достигало 0.96–0.98, а иногда даже 0.99 («белый дым»). В дымах над Россией часто наблюдались узкие распределения частиц по размерам, когда оптические свойства дымового аэрозоля определялись его тонкодисперсной фракцией [1, 2]. При этих условиях степень линейной поляризации рассеянного света часто снижалась до 0.1–0.2 (летом 2010 и летом 2012 г.).

Два фактора определили особенности московской дымной мглы осенью 2014 г.: дальний перенос дыма с западного и юго-западного направлений, что подтверждается траекториями переноса воздушных масс, и ближними локальными пожарами в Подмосковье,

которые обнаруживались непосредственно. В связи с этим эмпирические функции распределения массовой концентрации аэрозоля PM10 и спектры плотности мощности указанных вариаций оказались необычными. Отношение PM2.5 к PM10 и массовая доля сажи осенью 2014 г. были типичными для дымового аэрозоля при пожарах в бореальных лесах. Для характеристики пространственного распределения дымового аэрозоля над европейской территорией России использовались данные аэрокосмического мониторинга.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант №14-47-0049).

1. Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Sviridenkov M.A. et al. Satellite and ground – based monitoring of smoke in the atmosphere during the Summer wildfires in European Russia in 2010 and Sibiria in 2012 // *Int. J. Rem. Sens.* 2014. V. 35. № 15. P. 5698–5721.
2. Sitnov S.A., Gorchakov G.I., Sviridenkov M.A. et al. The Effect of Atmospheric Circulation on the Evolution and Radiative Forcing of Smoke Aerosol over European Russia during the Summer of 2010 // *Izv. Atm. Oceanic Phys.* 2013. V. 49. № 9. P. 1006–1018.

Moscow smoke haze in fall 2014

G.I. Gorchakov[1] (gengor@ifaran.ru), V.M. Kopeikin[1], S.A. Sitnov[1], E.G. Semoutnikova[2], M.A. Sviridenkov[1], A.V. Karpov[1], E.A. Lezina[2], A.S. Emilenko[1], A.A. Isakov[1], T.Ya. Ponomareva[3], G.A. Kuznetsov[1]

[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhyovskiy per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Vorobievy Gory, 119991 Moscow, Russia*
[3]*Hydrometeorological Research Centre of Russian Federation, 11–13 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

Optical and microphysical properties of the smoke aerosol during fires in the boreal forests of Russia and Canada have been analyzed. Single scattering albedo of the smoke aerosol during forest fires over European part of Russia and over Siberia achieved 0.96–0.98 and even 0.99 (“white smoke”). In smokes over Russia the narrow particle size distributions are frequently observed when the fine mode determines the optical properties of the smoke aerosol [1, 2]. Under these conditions the degree of linear polarization of scattered light in dense smoke hazes reduced frequently to 0.1–0.2 in summer 2012 and in summer 2010.

Two factors determined Moscow smoke haze peculiarities in fall of 2014: the long-range smoke transport from the west and south-west that was proved by air mass trajectories and the near local forest fires in the Moscow region revealed immediately. Therefore empirical distribution functions of the mass aerosol concentration PM10 and the variation power spectra of the aerosol mass concentration fluctuations were unusual. Ratio of PM2.5 to PM10 and the mass fraction of the soot in autumn 2014 were typical for the smoke aerosol during fires in the boreal forests. Spatial distribution of the smoke aerosol over European Russia was evaluated using aerospace monitoring data.

The work is supported by the Russian Science Foundation (grant 14-47-00049).

1. Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Sviridenkov M.A. et al. Satellite and ground – based monitoring of smoke in the atmosphere during the Summer wildfires in European Russia in 2010 and Sibiria in 2012 // *Int. J. Rem. Sens.* 2014. V. 35. № 15. P. 5698–5721.
2. Sitnov S.A., Gorchakov G.I., Sviridenkov M.A. et al. The Effect of Atmospheric Circulation on the Evolution and Radiative Forcing of Smoke Aerosol over European Russia during the Summer of 2010 // *Izv. Atm. Oceanic Phys.* 2013. V. 49. № 9. P. 1006–1018.

Особенности гиперспектрального подхода к математическому моделированию переноса поляризованного излучения в условиях региона Арктики

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В., Фомин Б.А., Фалалеева В.А.

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

Особенности метеорологических и оптико-геофизических параметров в регионах Арктики существенно осложняют математическое моделирование переноса поляризованного излучения в атмосфере, являющейся по существу гетерогенной системой с разными стратами, различающимися пространственной структурой и процессами взаимодействия излучения с веществом.

Цель исследования связана с необходимостью создания вычислительной инфраструктуры использования данных аэрокосмического дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), когда на передний план выдвигаются разработки, касающиеся повышения информативности и достоверности обрабатываемых аэрокосмических данных. Составной частью таких разработок являются вычислительные процедуры распознавания природно-техногенных объектов по гиперспектральным аэрокосмическим изображениям (сотни спектральных каналов в видимой и ближней инфракрасной области, разрешение в единицы нанометра).

Буквально в последние годы благодаря достижениям в элементной базе оптоэлектронного приборостроения внимание исследователей привлекли и проблемы, связанные с учетом состояния поляризации и деполяризации излучения. В качестве инструментария решения этой фундаментальной задачи служат разработанные авторами ранее и предполагаемые для дальнейшего развития методы, алгоритмы и расчетные программы обработки данных гиперспектрального зондирования на основе решения прямых и обратных задач теории переноса излучения и новых подходов в теории информатики. Эти задачи относятся к классу самых сложных вычислительных задач в кинетической теории переноса электромагнитного излучения в рассеивающих и поглощающих средах и аэрокосмического ДЗЗ.

Однако, никакие самые точные и самые адекватные модели переноса излучения и методы решения кинетических задач (в этой области успехи очевидные [1]) не дадут достоверных результатов, если в расчетах использованы неадекватные и не столь точные модели взаимодействия радиации с облачностью и аэрозолями. Потому в настоящий момент на первый план выходят исследования, связанные с микрофизическими и оптическими свойствами аэрозоля и облаков разного фазового состава: зависимость оптических свойств облаков от параметров микрофизической структуры и температуры облака, методы учета влияния формы облачных частиц на оптические характеристики облака. Оценки влияния оптических факторов на гиперспектральные характеристики радиации, тем более с учетом поляризации, можно проводить на упрощенных моделях для плоских слоев. Такие результаты представлены в докладе.

Работа поддерживается грантами Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 15-01-00783, 14-01-00197) и проектом Программы фундаментальных исследований РАН (ОМН-3(3.5) ПФИ РАН).

1. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2005. 661 с.

Features of the hyperspectral approach to mathematical modeling of the polarized radiation transfer in the conditions of the Arctic region

T.A. Sushkevich (tamaras@keldysh.ru), S.A. Strelkov, S.V. Maksakova, B.A. Fomin, V.A. Falaleeva

Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia

Features of the meteorological and optical-geophysical parameters in the Arctic regions significantly complicates the mathematical modeling of the polarized radiation transfer in the atmosphere, which is essentially a heterogeneous system with different strata, differing of the spatial structure and the processes of the interaction of the radiation with matter.

The purpose of the study is related to the need to create a computing infrastructure for the usage of the Earth's aerospace remote sensing data, when the developments relating to the improvement of informativeness and reliability of the processed aerospace data are nominated at the forefront. A component of these developments is the computational procedures for recognizing the natural and technogeneous objects in the aerospace hyperspectral images (hundreds of spectral channels in the visible and near infrared region, the resolution is units of nanometer).

Just in the last few years thanks to the advances in the optoelectronic element base instrumentation, problems associated with considering the state of the radiation polarization and depolarization attracted the attention of researchers. As a tool for solving this fundamental problem, methods, algorithms and software for processing the hyperspectral sounding data developed by the authors previously are served. These tools are based on solving the direct and inverse problems of the radiative transfer theory, new approaches in the theory of computer science and proposed for further development. These problems are related to the class of the most complicated computational problems in the kinetic theory of electromagnetic radiation transfer in the scattering and absorbing media and aerospace remote sensing.

However, none of the most accurate and the adequate models of the radiation transfer and methods for solving kinetic problems (in this area, the success is obvious [1]) will give reliable results if inadequate models of the interaction of the radiation with the clouds and aerosols are used in the calculations. Therefore studies related to the microphysical and optical properties of the aerosols and clouds of the different phase composition (the dependence of the optical properties of the cloud on the parameters of the microphysical structure and the temperature of the cloud, the methods of accounting for the influence of the shape of the cloud particles on the optical characteristics of the clouds) are currently at the forefront. It is possible to estimate the influence of optical factors on radiation hyperspectral characteristics using the simplified models for plane layers. These results are presented in the report.

This research is supported by grants from the Russian Foundation for Basic Research (projects 15-01-00783, 14-01-00197) and the project of Program of Fundamental Scientific Research RAS (FMI-3 (3.5) PFSR RAS).

1. Sushkevich T.A. *Mathematical models of the radiation transfer*. M.: BINOM. Knowledge Laboratory. 2005. 661 p.

Вариации сажи в Арктике

Копейкин В.М.[1] (kopeikin@ifaran.ru), Артамонов А.Ю.[1], Говорина И.А.[3], Махотин М.С.[3], Новигатский А.Н.[2], Пономарева Т.Я.[5], Репина И.А.[1], Скороход А.И.[1], Шевченко В.П.[2], Чуракова Е.Ю.[4]

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

[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр. *36, 117218* Москва, Россия

[3]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга *38, 199397* Санкт-Петербург, Россия

[4]Северный *(*Арктический*)* федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины *17, 163002* Архангельск, Россия

[5]Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, Б. Предтеченский пер. *11-13, 123242* Москва, Россия

Вариации содержания сажевого аэрозоля в приводном слое атмосферы получены в 5 рейсах научно-исследовательских кораблей. Отбор аэрозольных проб осуществлялся в Карском, Баренцевом морях, Море Лаптевых и Восточно-Сибирском море. Средняя концентрация сажи за рейс в Карском море составляет 0.076 мкг/м^3 в августе 2014 г. и 0.109 мкг/м^3 в сентябре 2011 г., в Баренцевом море – 0.140 мкг/м^3 в июне 2014 г., 0.080 мкг/м^3 в августе–сентябре 2013 г. и 0.210 мкг/м^3 в октябре 1998 г., в Море Лаптевых – 0.210 мкг/м^3 и в Восточно-Сибирском море – 0.045 мкг/м^3.

Проведен анализ вариаций концентрации сажи с использованием 2-суточных обратных траекторий переноса воздушных масс, построенных с помощью модели HYSPLIT [1], с учетом ледовой обстановки по картам состояния ледового покрова в Арктических морях [2]. Уровень загрязнения сажей приводного слоя атмосферы в местах проведения измерений в воздушных массах, пришедших с материковой части территории России, выше, чем загрязнение в воздушных массах, пришедших с водных поверхностей морей Арктики. С приходом воздушных масс с северо-западного направления концентрация сажи в августе 2014 г и сентябре 2011 г. не превышает 0.059 мкг/м^3, а с приходом с материковой части России концентрация сажи в августе 2014 г. варьирует в интервале 0.08–0.420 мкг/м^3 (4 случая). В сентябре 2011 г. Концентрация сажи находится в интервале 0.22–0.94 мкг/м^3 (5 случаев, значение 0.94 мкг/м^3 получено, когда воздушная масса воздуха прошла через г. Норильск). В Баренцевом море в июне 2014 г. во время плавания судна в свободной ото льда воде (70–77° с.ш., 15–35° в.д.) средняя концентрация сажи составляет 0.035 мкг/м^3, а при плавании во льдах 0.16–1.07 мкг/м^3.

В местах присутствия льда на пути следования научно-исследовательского судна проведена корректировка значений концентраций сажи (исключены моменты попадания в пробоотборник выбросов дыма от дизельных двигателей, соответствующие высоким значениям содержания субмикронного аэрозоля в атмосферном воздухе). В результате такой корректировки в рейсе НЭС ”Академик Федоров”, осуществленной в августе–сентябре 2013 г., средняя концентрация сажи за рейс снизилась приблизительно на 20%. Оказалось, что локальное загрязнение приводного слоя атмосферы сажей при низких скоростях движения судна во льдах существенно зависит от метеорологических условий.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ (грант 14-05-93089).

1. http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html.
2. http://ww.aari.nw.ru/odata/_d0004.php.

Soot variations in the Arctic

V.M. Kopeikin[1] (kopeikin@ifaran.ru), A.Yu. Artamonov[1], I.A. Govorin[3], M.S. Mahotin[3], A.N. Novigatsky[2], T.Ya. Ponomareva[5], I.A. Repina[1], A.I. Skorohod[1], V.P. Shevchenko[2], E.Yu. Churakova[4]

[1]*Obuchov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovsky pr., 117997 Moscow, Russia*
[3]*Arctic and Antarctic Reasearch Institute, 38 Bering str., 199397 St. Petersburg, Russia*
[4]*Northern (Arctic) Federal University, 17 nab. Cevernoi Dvini, 163002 Archangelsk, Russia*
[5]*Hydrometeorological Research Center of Russia, 11-13 B. Predtechensky, 123242 Moscow, Russia*

Variations soot aerosol content in the surface layer of the atmosphere are obtained in the 5 flights of research ships. The selection of aerosol samples was carried out in the Kara and Barents seas, the Laptev Sea and the East Siberian Sea. The average soot concentration per flight in the Kara Sea is 0.076 μg/m^3 in August 2014 and 0.109 μg/m^3 in September 2011, in the Barents Sea – 0.140 μg/m^3 in June 2014, 0.080 μg/m^3 in August–September 2013, 0.210 μg/m^3 in October 1998, in the Laptev Sea – 0.210 μg/m^3 and in the East Siberian Sea – 0.045 μg/m^3.

The analysis of the variations of the soot concentration has been performed using a 2-day back trajectories of air mass transfer, built by the model HYSPLIT [1], in view of ice conditions on the cards of the ice cover in the Arctic seas [2]. The level of soot pollution surface layer of the atmosphere in the ground measurements in air masses coming from the mainland territory of Russia, higher than the pollution in the air masses coming from the water surface of the Arctic seas. With the advent of air masses from the north-west soot concentration in August 2014 and September 2011, does not exceed 0.059 mkg/m^3, and with the arrival of a Russian mainland soot concentration in August 2014, varies in the range of 0.08–0.420 μg/m^3 (4 cases). In September 2011, the soot concentration is in the range of 0.22–0.94 μg/m^3 (5 cases, the value of 0.94 μg/m^3 obtained when the air mass of air passed through the Norilsk). In the Barents Sea in June 2014 while sailing ship in the ice-free water (70–77°N, 15–35°E), the average concentration of carbon black is 0.035 μg/m^3, while navigating in ice – 0.16–1.07 μg/m^3.

In places the presence of ice on the route of the research vessel, the adjustment of soot concentrations (excluding moments of entering the sampler smoke emissions from diesel engines, corresponding to high values of the content of submicron aerosol in the atmosphere) was conducted. As a result of such adjustment carried out in August–September 2013, the average concentration of soot per flight decreased by approximately 20%. It turned out that the local pollution of the near-water atmospheric layer with soot at vessel low speeds in ice essentially depends on the meteorological conditions.

The work is supported by the Russian Science Foundation (grant 14-05-93089).

1. http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html.
2. http://ww.aari.nw.ru/odata / _ d0004.php.

Наблюдение молний из космоса через облачный слой

Бусыгин В.П.[1], Бусыгина Н.Г.[1], Вагин Ю.П.[2], Ковалевская О.И.[1], Кузьмина И.Ю.[2] (irkuzmina@bk.ru)

[1]*12* ЦНИИ Минобороны России, *141307* Сергиев-Посад-*7* Московская обл, Россия
[2]НПК «Системы прецизионного приборостроения», Авиамоторная *53, 11125* Москва, Россия

Рассматривается задача о переносе оптического излучения импульсного источника, расположенного под нижней границей облачного слоя, к наблюдателю, находящемуся в космосе. Облачность задается толщиной слоя Δ*H*, коэффициентом ослабления $_{обл}$ и оптической толщиной = $_{обл}$ *H*. Источник – линейный, изотропный в каждой своей точке. Расчеты характеристик поля излучения выполняются методом Монте-Карло. Изучаются оптические эффекты, возникающие при наблюдении источника под различными углами визирования υ в зависимости от оптической толщины облачности . Выявлен ряд

особенностей формирования светимости верхней границы облачного слоя и углового распределения выходящего излучения. Показано, что при углах визирования υ, отличных от нуля, область наиболее интенсивного свечения (световое пятно) с возрастанием смещается от линии визирования к направлению в зенит, образуя известный эффект «преломления» рассеянного света.

Линейный излучатель можно рассматривать как геометрическую модель молниевого разряда с временной функцией потока $F(t)$. Тогда сигнал выходящего рассеянного излучения молнии определяется как математическая свертка функции $F(t)$ с импульсной характеристикой трассы $J(t)$. В работе рассчитаны примеры сигналов молний для функции $F(t)$.

Observation of lightnings through the cloud layer from space

V.P. Busygin[1], N.G. Busygina[1], Yu.P. Vagin[2], O.I. Kovalevskaja[1], I.Yu. Kuzmina[2] (irkuzmina@bk.ru)

1 The 12th Central Research Institute of the Russian Defense Ministry, 141307 Sergiev Posad Moscow Region, Russia

[2]Open Joint-stock Company "Research-and-Production Corporation "Precision Systems and Instruments", Moscow

The task of the optical radiation tranfer from the pulse source is studied. The source is located below the down boundary of the cloud layer. There is the observer in the space. The cloudiness is defined by the layer thickness ΔH, the extinction index and the optical thickness = $_{обл}$ H. The source is linear and isotropic in the every point. Calculations of the radiation field characteristics are provided by the Monte-Carlo method. The optical effects are studied when the source is observed under different sight angles υ versus the optical cloud thickness . Series of features of the upper boundary cloud layer luminosity and the angle distribution of the radiation are discovered. It is demonstrated that for sight angles of sight υ different from zero the region of the most intensive irradiation (light spot) shifts toward zenith direction with increasing the optical thickness . It is famous effect of the scattering light refraction.

The linear source may be examined as the geometric model of the lightning with the time function $F(t)$. Then the signal of the scattering lightning radiation is determined as the convolution of the $F(t)$ with the pulse characteristic of the transmission trace $J(t)$. Some examples of the lightning signals for specified function $F(t)$ are given in this paper.

Модель фазового состояния облака для диагностики ледяных ядер в облаках по спутниковым данным

Чукин В.В. (chukin@meteolab.ru), Нгуен Т.Т., Никулин В.Н., Садыкова А.Ф., Чукина А.М.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санк-Петербург, Россия

Данные многоканальных спектрометров, установленных на метеорологические спутники, позволяют оценивать оптические свойства облаков, их водозапас (LWP) и льдозапас (IWP), на основе которых определяется доля кристаллов льда в облаке (IF), являющаяся интегральной характеристикой фазового состояния облака. Поскольку при температурах выше 235 K замерзание капель происходит в результате гетерогенной кристаллизации с участием ледяных ядер, находящихся в каплях, то поверхностные свойства этих частиц и температура воздуха в основном и определяют IF в облаке.

Для оценки параметров ледяных ядер используется созданная модель фазового состояния облака, использующая данные спутниковых измерений температуры на верхней границе облаков (CTT) и IF облака. Существенное уточнение определяемых значений

параметров ледяных ядер может быть достигнуто при использовании данных о вертикальном профиле температуры воздуха, получаемом численной моделью прогноза погоды.

Phase state model for diagnostics of the ice nuclei in clouds on the basis of satellite data

V.V. Chukin (chukin@meteolab.ru), T.T. Nguyen, V.N. Nikulin, A.F. Sadykova, A.M. Chukina

Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia

The data of multichannel spectrometers mounted on meteorological satellites, allow estimating the optical properties of clouds, their liquid water path (LWP) and ice water path (IWP). LWP and IWP are used to determine the ice crystals fraction (IF) in the clouds, which is an integral characteristic of the phase state of the clouds. At temperatures above 235 K droplets freezing occurs as a result of crystallization with the help of ice nuclei. The surface properties of the particles and the air temperature basicaly influence on IF of cloud.

To estimate the parameters of ice nuclei we apply the developed model of the phase state of the cloud, using data of satellite measurements of the temperature at the cloud top (CTT) and IF clouds. A significant improvement in the accuracy of ice nuclei parameters can be achieved by using data on the vertical profile of air temperature from numerical weather prediction model.

Спектральные характеристики нисходящей солнечной радиации в разорванной облачности: результаты численного моделирования

Насртдинов И.М. (wizard@iao.ru), Журавлева Т.Б., Чеснокова Т.Ю.

Институт отики атмосферы им. В.В. Зуева СО РАН, пл. Академика Зуева *1, 634021* Томск, Россия

Моделирование переноса солнечного излучения в атмосфере Земли является неотъемлемым этапом решения широкого круга прямых и обратных задач атмосферной оптики. С этой целью во многих научных центрах развиваются коды, предназначенные для расчета радиационных характеристик в различных атмосферных условиях. Большинство из них ориентировано на моделирование переноса радиации в горизонтально однородной модели атмосферы, тогда как полученные на протяжении двух последних десятилетий результаты показали существенное влияние 3D-эффектов облаков на формирование закономерностей спектрально-угловых характеристик яркости неба и потоков излучения в облачной атмосфере.

В работе представлены результаты моделирования потоков и полей яркости неба в УФ, видимом и ближнім ИК диапазонах спектра при “наблюдениях” с поверхности Земли для различных реализаций облачного поля. Алгоритмы метода Монте-Карло реализованы в сферической модели атмосферы (метод сопряженных блужданий). Моделирование облачных реализаций выполняется с использованием пуассоновской модели разорванной облачности; облака аппроксимируются опрокинутыми усеченными параболоидами вращения. Учет молекулярного поглощения выполняется на основе приближения функции пропускания коротким рядом экспонент (метод k-distribution). Рассмотрены факторы, определяющие особенности формирования яркости неба Bcld, обусловленные 3D эффектами изолированного облака, а также радиационным взаимодействием – взаимным затенением и многократным рассеянием излучения между облаками. Показано, что в конкретных облачных реализациях Bcld зависит преимущественно от наличия/отсутствия облаков на линии визирования (ЛВ) и затенения ЛВ другими облаками.

Представлены примеры изменения спектрально-угловых характеристик яркости и потоков солнечного излучения от балла облачности, параметров облаков и условий освещенности в зависимости от расположения облаков относительно ЛВ и направления “на Солнце”. Приведенные количественные оценки полезны для более точной интерпретации

данных наблюдений при проведении замкнутых радиационных экспериментов, идентификации и устранения эффектов облачности при решении обратных задач оптики аэрозоля по данным фотометрических измерений с поверхности Земли и т.д.

Spectral characteristics of downward solar radiation in broken clouds: results of numerical simulation

I.M. Nasrtdinov (wizard@iao.ru), T.B. Zhuravleva, T.Yu. Chesnokova
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia

The simulation of the fluxes and brightness fields of the solar radiation is the unavoidable stage of solution of a wide circle of direct and inverse problems of the atmospheric optics. To this end, many scientific centers develop the codes designed for the calculation of the radiative characteristics under different atmospheric conditions. Most of them are aimed at simulating the solar radiative transfer in a horizontally homogeneous model of the atmosphere, whereas the results obtained during the last two decades have shown that the 3D effects of clouds significantly affect the regularities of formation of spectral angular characteristics of the brightness fields and fluxes in the cloudy atmosphere

In this work, we present the simulation results of radiative fluxes and brightness fields in the UV, visible and near-IR spectral ranges for different cloud realizations when «observer» is located on the Earth's surface. The algorithms of the Monte Carlo method were implemented in a spherical model of the atmosphere (method of adjoint walks). Simulation of cloud realizations performed using the Poisson model of broken clouds; clouds were approximated by inverted paraboloids. The molecular absorption was accounted for on the basis of approximation of the transmission function by short exponential series (k-distribution method). The factors that determine the features of formation of the sky brightness (Bcld), caused by 3D effects of the isolated cloud and radiative interaction – the mutual shading and light multiple scattering between clouds – are considered. It is shown that in the specific cloud realizations Bcld depends mainly on the presence/absence of clouds on the line of sight (LS) and shading of LS by clouds.

The examples of the variation of spectral radiative characteristics depending on the location of clouds with respect to LS and direction "to the Sun" are presented for different cloud parameters, cloud amount and illumination conditions. These quantitative estimates are useful for more accurate interpretation of observational data during the closed radiation experiments, the identification and elimination of the cloud effects in the solution of inverse problems of optics aerosol from photometric measurements from the surface of the Earth, etc.

Влияние вклада прямого и рассеянного излучения в суммарную УФ радиацию при различных условиях по данным численных экспериментов

Смышляев С.П.[1] (smyshl@rshu.ru), Чубарова Н.Е.[2], Галин В.Я.[3]
[1]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия
[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия
[3]Институт вычислительной математики РАН, Губкина *8, 119991* Москва, Россия

Рассматривается изменчивость приходящей к земной поверхности плотности потока ультрафиолетового (УФ) излучения в спектральном диапазоне 280–400 нм. Проведено сравнение расчетов вертикальных профилей прямого и рассеянного УФ излучения, выполненных различными методами (методом дискретных ординат в 8-ми потоковом приближении и методом дельта-Эддингтона, который используется в химико-климатической модели ИВМ-РГГМУ) с использованием широкополосных и имеющих высокое спектральное разрешение подходов.

По результатам сравнения методов расчета солнечной радиации оцениваются эффективные сечения поглощения озона для использования в широкополосных подходах. Получены оценки вклада прямого и рассеянного молекулами и аэрозолем излучения в формирование уровня суммарной УФ радиации у земной поверхности при разных зенитных углах Солнца и при различном аэрозольном содержании атмосферы. Проведен анализ изменчивости соотношения прямого и рассеянного УФ излучения при разных атмосферных условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №15-05-03612.

The impact of the contribution of direct and diffuse radiation in the global UV radiation under various conditions according to numerical experiments

S.P. Smyshlyaev[1], N.Ye. Chubarova[2], V.Ya. Galin[3]
[1]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*
[2]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia*
[3]*Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin str., 119333 Moscow, Russia*

We analyze the variability of ultraviolet (UV) radiation at ground within the wavelength range 280–400 nm. A comparison of the vertical profiles of direct and diffuse UV radiation has been performed by various methods (8-stream discrete ordinates method and the delta-Eddington method, which is used in INM-RSHU chemistry-climate model) using broadband and high spectral resolution approaches.

According to the results of the comparisons of different RT methods we estimated effective ozone absorption cross sections for broadband simulations. The estimates of the contribution of direct and diffuse components in global UV radiation at ground were obtained at different zenith solar angles and various aerosol content of the atmosphere. The variability of the direct to diffuse UV radiation ratio is discussed under different atmospheric conditions.

This work was partially supported by the RFBR project #15-05-03612.

Определение параметров вулканического пепла по спутниковым данным

Филей А.А.[1] (andreyvm-61@mail.ru), Рублев А.Н.[2], Киселева Ю.В.[2]
[1]ДЦ НИЦ "Планета", ул. Ленина *18, 680000* Хабаровск, Россия
[2]НИЦ "Планета"; Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия

Весной 2010 года движение воздушных судов по авиалиниям, проходящим над Европой, было полностью парализовано на несколько дней. Причиной тому послужило извержение исландского вулкана Эйяфьятлайокудль, в результате которого в атмосферу были выброшены тысячи тонн вулканического пепла. Вулканический пепел состоит в основном из твердых стекловидных частиц, представляющих большую опасность для работы авиационных двигателей. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса позволяют не только визуализировать пепловый шлейф, но и спрогнозировать его распространение в атмосфере, а также определить основные параметры. Большинство существующих методик по расчету массы пепла сводится к анализу уходящего излучения в инфракрасной области спектра: зависимости оптической толщины и эффективного радиуса частиц пепла от яркостных температур на длинах волн 11 и 12 мкм, т.е. интерпретацией алгоритма Wen and Rose (1994).

В «НИЦ «Планета» разработан свой алгоритм определения параметров вулканического пепла на основе спутниковых данных, получаемых от сканеров типа AVHRR или МСУ-МР, установленных на полярно-орбитальных метеоспутниках. В качестве входных параметров, помимо упомянутых яркостных температур, алгоритм дополнительно использует

коэффициенты отражения, измеряемые в коротковолновых каналах сканеров. Вычисление массовых характеристик пепла происходит по его оптической толщине и эффективному радиусу частиц. Модельные зависимости, связывающие эти параметры с коэффициентами отражения и яркостными температурами, измеренными в каналах сканеров, получены для широкого набора условий, учитывающих разнообразие геометрии наблюдений и изменчивость оптического режима атмосферы.

В настоящее время в Европейском и Дальневосточном центрах НИЦ «Планета» ведется работа по валидации алгоритма на основе сопоставления его результатов с оценками параметров пепла, полученными различными зарубежными исследовательскими группами по исландским вулканам Эйяфьятлайокудль (2010 г.) и Гримсвотн (2011 г.). В качестве входных параметров для расчетов используются архивные спутниковые данные с КА «Метор-А». После завершения валидации алгоритм будет использоваться, главным образом, для определения параметров пепла вулканов Камчатки и Курил с использованием данных российских метеорологических спутников серии «Метеор-М».

The retrieval of volcanic ash parameters from satellite data

A.A. Filey[1] (andreyvm-61@mail.ru), A.N. Rublev[2], Yu.V. Kiseleva[2]

[1]*Far-Eastern Center of State Research Center for Space Hydrometeorology «Planeta», 18 Lenina st., 680000 Khabarovsk, Russia*

[2]*State Research Centre of Space Hydrometeorology “Planeta”, 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

In spring 2010, the movement of aircraft to airlines, passing over Europe, was completely paralyzed for a few days. The reason for this was the eruption of the Icelandic volcano Eyjafjallajökull, which resulted in a large amount of volcanic ash in the atmosphere. Volcanic ash consists primarily of glassy solid particles; those are of high-risk for aircraft engines. Remote sensing data from space can not only visualize the ash plume, but also forecast its distribution in the atmosphere, as well as determine the main parameters. Most of the existing methods for the calculation of the mass of ash are reduced to the analysis of the outgoing IR radiation using the dependence of the optical thickness and effective radius of the particles of ash from the brightness temperatures at wavelengths between 11 and 12 microns, i.e. interpretation algorithm Wen and Rose (1994).

In the "SRC " Planet " has developed its algorithm for determining the parameters of volcanic ash from satellite data from AVHRR or MSU-MR scanners installed on polar-orbiting meteorological satellites. As input parameters the algorithm (besides brightness temperatures) uses reflection coefficients measured in the short-channels. Ash mass characteristics are calculated using the optical thickness and effective radius of particles. Model dependencies linking these parameters with reflection coefficients and brightness temperatures measured in the scanner channels are obtained for a wide range of conditions, taking into account the diversity of observation geometry and optical variability of the atmosphere.

Currently, European and Far Eastern centers "SRC" Planet " is working to validate the algorithm by comparing the results with the estimates of the parameters of the ashes, obtained by various foreign research groups for Icelandic volcano Eyjafjallajökull (2010) and Grimsvötn (2011). As input parameters for the calculations archival satellite data from the satellite Metop-A are used. After completion of the validation the algorithm will be used mainly to determine parameters of ashes of Kamchatka and Kuril Islands volcanoes using data from the Russian meteorological satellite series "Meteor-M".

Роль фазового состояния облаков в формировании потоков радиации

Дмитриева Л.Р. (dmitrieva@mecom.ru), Толстых М.А., Харин А.С., Хорошенький Д.В., Трубина М.А.
Гидрометцентр России, Б. Предтеченский пер. *11–13, 123242* Москва, Россия

Роль облачности в энергетике атмосферы и формировании температуры подстилающей поверхности весьма велика. Компоненты теплового баланса, которые формируют температуру поверхности, зависят от свойств облачности, а также от свойств самой поверхности. Радиация достигает земной поверхности в зависимости от температуры атмосферы и фазового состава облаков (капельные, смешанные, кристаллические). Дело осложняется тем, что кристаллы, составляющие кристаллические и смешанные облака, имеют разную форму и размеры.

Большое значение для потоков излучения имеет радиус частиц. Если для водяных облаков это вопрос точности задания радиуса, то для кристаллических облаков это вопрос расчета эффективных радиусов. Формулы для ослабления излучения содержат радиус частиц облака. Сами радиусы зависят от физических параметров, которые должны быть произведены любой моделью. Это, прежде всего, водность (лёдность), температура и плотность среды. Вопрос о переносе излучения в облаках, частицы которых имеют неправильную форму, стоит очень остро, что относится к облакам типа Ci и к смешанным облакам. Имеются формулы для эффективных радиусов, например [1]. Модификация этих формул, где радиус рассчитывается как функция температуры и лёдности, используется в глобальной прогностической модели, разработанной М.А. Толстых [2].

Приведены сравнения полученных потоков при наличии кристаллических облаков и их отсутствии. В Гидрометцентре России имеются алгоритмы для расчета длинноволновой и коротковолновой радиации, разработанные под руководством Л.Р. Дмитриевой-Арраго. Величина ослабления облачностью для длинноволновой радиации дана К.С.Шифриным [3]. Для коротковолновой радиации ослабление описывается формулами В.И. Хворостьянова [4]. Результаты введения эффективных радиусов как в модель М.А.Толстых, так и в формулы Шифрина и Хворостьянова представлены в докладе. Кроме того, приведено сравнение потоков, достигших подстилающей поверхности, для модели, разработанной М.А.Толстых, и для алгоритмов длинноволновой и коротковолновой радиации.

1. Sun Z. & L.Rikus. Parametrization of effective sizes of cirrus-cloud particles and its verification against observations // *Q.J.R.Meteorol.Soc.* 1999. V. 125. P. 3037–3055.
2. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. М.: Обнинск: ОАО ФОП. 2010. 111 с.
3. Шифрин К.С. О вычислении радиационных свойств облаков. Труды ГГО. 1955. Вып. 46(108). С. 5–33.
4. Хворостьянов В.И. К расчету коэффициентов рассеяния и поглощения коротковолновой радиации в облаках. Труды УкрНИИ. 1980. Вып. 178. С. 64–85.

Role of the phase state of clouds in the formation of radiation fluxes

L.R. Dmitrieva (dmitrieva@mecom.ru), M.A. Tolstykh, A.S. Harin, D.V. Horoshenky, M.A. Trubina
Hydrometeorological Research Centre of Russian Federation, 11–13 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

The role of the clouds is very important for the energetic of the atmosphere and surface temperature. The components of the heat balance, that form the surface temperature, depend on the cloud and surface properties. Radiation that comes to underlying surface depends upon the temperature of the atmosphere and clouds phase state (water, mixed and crystal clouds). The situation is very complex in the connection with the many different forms and sizes of crystals that form the mixed and crystal clouds.

Particle radius has a direct relationship to the radiation fluxes. The formulas for the attenuation contain the radius of cloud particles. The radius depends upon the physical parameters,

(such as the temperature, water (ice) content and density of medium) which are modeled. The question about the radiation transfer now is very shaply. There are formulas for the effective radius, for example [1]. Modification of this formula, where the radius is calculated as a function of temperature and ice water content, is used in global prognostic model [2].

Results of the comparison of the fluxes with the existence of crystal clouds and absence of them are presented. Algorithms of computation of longwave and shortwave radiation fluxes were constructed in the HMC of Russia under the guidance of L.R. Dmitrieva-Arrago. The formula for the calculation of the attenuation of longwave radiation fluxes was given by K.S. Shifrin [3]. Value of attenuation of shortwave radiation was described by V.I.Chvorostianov [4]. Results of the usage of effective radius and comparison of radiation fluxes are presented both for model constructed by M.A. Tolstykh and algorithms for the longwave and shortwave radiation.

1. Sun Z. & L.Rikus. Parametrization of effective sizes of cirrus-cloud particles and its verification against observations // *Q.J.R.Meteorol.Soc.* 1999. V. 125. P. 3037–3055.
2. Tolstykh M.A. Global semi-Lagrangian model for numerical forcasting the weather. M.: Obninsk: OAO FOP. 2010. 111 c. (in Russian)
3. Shifrin K.S. About the computation of the cloud radiative properties // Proc. MGO. 1955. Is. 46(108). P. 5–33 (in Russian).
4. Khvorostyanov V.I. To the calculation of scattering and absorption coefficients of shortwave radiation in clouds // Proc. UkNII. 1980. Is. 178. P. 64–85.

OMPS LP Global Aerosol Profile measurements

Ghassan Taha[1,2] (ghassan.taha-1@nasa.gov), Peter Colarco[1], Valentina Aquila[3], Robert Loughman[4], Glen Jaross[2], and Pawan K. Bhartia[2]

[1]*Universities Space Research Association, Columbia, MD, USA*
[2]*NASA Goddard Space Flight Center, , Greenbelt, MD, USA*
[3]*Johns Hopkins University, Baltimore, MD, USA*
[4]*Hampton University, Hampton, VA, USA*

The Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS) on board Suomi National Polar-orbiting Partnership (S-NPP) was launched on October 28, 2011. It consists of three instruments: Nadir Mapper (NM), Nadir Profiler (NP) and Limb Profiler (LP). The OMPS LP instrument is designed to provide high vertical resolution ozone and aerosol profiles from measurements of the scattered solar radiation in the 290–1000 nm spectral range. It collected its first Earth limb measurement in January 10, 2012, and continues to provide daily global measurements of ozone and aerosol profiles from the cloud top up to 60 km and 40 km respectively.

Although the instrument was designed primarily for vertical ozone profiles measurement, it has a high sensitivity to stratospheric aerosols, cirrus cloud in the upper troposphere, as well as stratospheric (PSC) and mesospheric (PMC) clouds. The relatively high vertical and spatial sampling allow one to detect and track periodic events when aerosol particles are injected into the stratosphere, such as volcanic eruptions or meteor explosions.

In this paper we will describe OMPS LP aerosol products and present the changes in the aerosol loading over the past 3 years. We will also compare OMPS stratospheric aerosol products to model results by the Goddard Earth Observing System Chemistry Climate Model (GEOSCCM) coupled to aerosol model.

К вопросу о супрамолекулярной физике нижней атмосферы

Авакян С.В.[1,2,3], Галечян Г.А.[4]
[1]Всероссийский научный центр "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова", Биржевая линия, *12, 199034* Санкт-Петербург Россия
[2]Санкт-Петербургский государственный политехнический институт, Политехническая ул. *29, 194064* Санкт-Петербург,Россия
[3]ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, Тихорецкий пр. *21, 194064* Санкт-Петербург, Россия
[4]Институт прикладных проблем физики НАН Республики Армения, ул. Гр. Нерсесяна *25, 0014* Ереван, Республика Армения

В последние годы обращено внимание на недооценку влияния облачности на изменение климата [1]. Тот факт, что одновременно с повышением температуры океана, которое влечет за собой увеличение испарения с водной поверхности, наблюдается уменьшение облачности, и прежде всего над океанами, требует критического анализа существующих представлений о механизмах образования облаков на разных высотах. В то же время, в серии работ [2–4] на основе данных ISCCP о трендах в вариациях облачного покрова в период с 1983 по 2009 гг. выявлен вклад в генерацию глобальной облачности двух основных факторов истинной солнечно-геомагнитной активности – коротковолновых солнечных вспышек и мировых магнитных бурь. При этом обнаруживается устойчивая антикорреляция между поведением трендов глобальной облачности и содержания паров воды в столбе вышележащей атмосферы в разных полушариях (на примере станций на Тянь-Шане, высота 1600 м, и в Техасе, высота 500 м).

Полученные результаты дают нам основание считать величины содержания водяных паров второстепенным фактором в процессах облакообразования, а вариации солнечно-геомагнитной активности (и потока микроволн из ионосферы как регулятора конденсационно-кластерного процесса в тропосфере) – основной причиной эволюции облачного покрова в глобальном масштабе. Тогда действительно облачность в своём образовании использует атмосферные пары воды, но регулятором скорости генерации облаков являются вариации факторов истинной солнечно-геомагнитной активности. Это соответствует гипотезе [2–4] о вкладе нового радиооптического трёхступенчатого триггерного механизма солнечно-магнитосферных–погодно-климатических связей в регуляцию конденсационно-кластерного процесса образования дымки – предтечи оптически тонкой облачности, через воздействие спорадически возрастающего потока микроволн из ионосферы, где диссипируют потоки энергии вспышечного и буревого происхождения.

1. Микроволновое излучение генерируется в ионосфере всеми атомно-молекулярными составляющими при возбуждении их ридберговских (высоковозбужденных) состояний ударом энергичных электронов ионизации (фотоэлектронов, вторичных электронов и электронов Оже). Ранее такой процесс в ионосфере не рассматривался, а экспериментальные данные о спорадическом возрастании интенсивности микроволнового излучения в периоды солнечных вспышек и геомагнитных бурь были интерпретированы только в работах [2–4]. Важно, что поток этого излучения пропорционален по энергетике как мощности вспышки, так и силе бури, т.е. хорошо отражает текущее состояние солнечно-геомагнитной активности.

2. К настоящему времени выявлена связь между образованием конденсационно-кластерной дымки в тропосфере и воздействием всплесков микроволнового излучения Солнца, а также солнечных вспышек [5]. В [6] развито новое направление в химии – супрамолекулярная химия – «химия за пределами молекулы, описывающая сложные образования, которые являются результатом ассоциации двух (или более) частиц, связанных вместе межмолекулярными силами». По аналогии, развиваемая нами супрамолекулярная физика – это физика за пределами молекулы (атомно-молекулярного остова), в эволюции которой к сложным формам (кластерам) принимает участие электромагнитное излучение

внешнего происхождения, поглощаемое ридберговски возбужденными составляющими молекулярного комплекса с усилением его стабильности [7].

3. Микроволновое излучение среды увеличивает в процессе индуцированного поглощения ридберговски возбужденным электроном величину его орбитального момента, что приводит к снижению скоростей диссоциативной рекомбинации кластерных ионов в тропосфере и их распада, способствуя стабилизации кластеров. Действительно, в [8] в качестве основного процесса развала кластерных ионов в присутствии молекулярного газа, в том числе и в области давлений газов, соответствующих атмосферному, предложена трёхчастичная электрон-ионная "столкновительная диссоциативная рекомбинация". Она происходит в две стадии: сперва осуществляются столкновения между электроном и молекулами окружающего газа с заселением ридберговских уровней, затем электроны в ридберговских состояниях участвуют в безизлучательных переходах, приводящих к такой же диссоциации, как и в процессе со свободным электроном. В [8] показано, что коэффициенты скорости диссоциации сильно зависят от величины орбитального момента (l) ридберговского уровня во время столкновения: вероятность диссоциации увеличивается для малых величин l и наоборот, низка при больших значениях l. Следовательно, в периоды всплесков радиоизлучения Солнца и, тем более, в периоды спорадического возрастания интенсивности микроволнового ридберговского излучения ионосферы (во время солнечных КУФ- и рентгеновских вспышек, а также геомагнитных бурь) будет происходить индуцированное поглощением усиленного потока микроволнового излучения заселение ридберговских уровней с более высокими l в процессе "столкновительной диссоциативной рекомбинации" и, как результат, – уменьшение вероятности диссоциации кластерных ионов нижней атмосферы.

Исходя из этого, можно констатировать, что микроволновый поток способствует росту концентрации кластеров из паров воды в тропосфере, а это далее сопровождается образованием оптически тонкой облачности, или, изначально, конденсационной дымки. Оптически тонкая облачность в виде "молодых", как правило перистых, облаков имеет плотность ледяных частиц 10–15 см$^{-3}$ [9]. Т.о., на начальном этапе кластеризации молекул водяного пара в тропосфере необходимо иметь порядка 10–15 ридберговски возбужденных частиц в см^3 на высотах от 10 до 5 км. Это возможно, согласно подходу [8], если учитывать степень колебательного возбуждения окружающего молекулярного атмосферного газа, в первую очередь молекул азота, электронами. При заселении высоких колебательных уровней (излучательные переходы между которыми в гомоядерных молекулах строго запрещены и поэтому время жизни колебательного уровня достигает 10^8 с) удары второго рода между молекулярными составляющими способствуют заселению ридберговских состояний. Такая схема процессов, известных из физики электронно-атомных столкновений, способна, по-видимому, обеспечивать с энергетической точки зрения предложенный радиооптический механизм участия микроволнового излучения в кластеризации паров воды и далее – образовании оптически тонкой облачности. При этом возможен и учёт влияния на скорость диссоциативной рекомбинации потери энергии электроном в столкновениях с нейтральным молекулами на нормальной открытой траектории в поле положительного кластерного иона, которая становится замкнутой ридберговской орбитой образующейся нейтральной системы [8].

1. Покровский О.М. Климатология облаков по результатам международного спутникового проекта // Труды ГГО. 2012. Вып. 565. С. 115–131.
2. Авакян С.В. Физика солнечно-земных связей: результаты, проблемы и новые подходы // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. № 4. С. 1–8.
3. Авакян С.В., Воронин Н.А. Роль космических и ионосферных возмущений в глобальных климатических изменениях и коррозии трубопроводов // Иссл. Земли из космоса. 2011. № 3. С. 14–29.
4. Авакян С.В. Проблемы климата как задача оптики // Опт. журнал. 2013. Т. 80. № 11. С.101–107.
5. Никольский Г.А., Шульц Э.О. Спектрально-временные вариации остаточного ослабления в ближней ультрафиолетовой области спектра // Оптика атмосферы. 1991. Т. 4, № 9, С. 961–966.
6. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука. 1998. 334 с.

7. Авакян С.В. Супрамолекулярная физика окружающей среды // Тр. *II* Всер. науч. конф. "Экология и космос" им. К.Я. Кондратьева. ВКА им. А.Ф. Можайского. 2015. С. 372– 379.
8. Bates D.R. Electron-ion recombination in an ambient molecular gas // *J. Phys. B.* 1981. V. 18. P. 3525–3535.
9. Ивлев Л.С. Аэрозольное воздействие на климатические процессы // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 5. С. 392–410.

About supramolecular physics of the low atmosphere

S.V. Avakyan[1,2,3], G.A. Galechyan[4]

[1] *All-Russian Scientific Center "S.I. Vavilov State Optical Institute", 12 Birgevaya linia, 199034 Saint-Petersburg, Russia*

[2] *St. Petersburg State Politechnical University, 29 Polytechnicheskaya, 195251 Saint-Petersburg, Russia*

[3] *Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, 21 Tikhoretsky pr., 194064 Saint-Petersburg, Russia*

[4] *Institute of Applied Problems of Physics, National Academy of Sciences of Republic of Armenia, 25 Hr.Nersessian str., 0014 Yerevan, Republic of Armenia*

In the study [1], a striking inconsistency is noted between the decrease in the global cloudiness with the simultaneous increase in the temperature of the ocean surface (apparently accompanied with the increase in vaporization from the surface of water) and the existing mechanisms of cloud formation. This effect was detected in the ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) experiment and observed up to 2009.

Our results indicate that the evolution of the global cloudiness is basically driven by the variations of the solar-geomagnetic activity, while total coulomb atmospheric of water vapor (TCAWV) remains a second-order factor in the formation of clouds. In fact, TCAWV does not specify the formation of cloudiness in the global scale, since the abundance of water vapour is, as a rule, sufficient for that. Within the framework of the radio-optical mechanism of solar-terrestrial links, which we previously developed in the S.I. Vavilov Optical Institute, the microwave flux from the ionosphere is another important controlling factor of the cluster condensation in the troposphere. Therefore, the phenomenon presented in [1] also confirms the idea of domination of solar-geomagnetic activity in the condensation-cluster mechanism of the formation of cloudiness, and subsequently in the control over weather and climatic parameters [2–4].

1. The mechanism is based, firstly, on the taking into account the microwave emission generation in the Earth's ionosphere under the electron strike excitation of all Rydberg states of all atomic-molecular states of the upper atmosphere gases, and, secondly, on the contribution of the fluxes of this microwave emission into the regulation of the main process of the troposphere cluster ions distortion.

2. At present there is evidence of link between of the generation condensation-cluster haze and effect of solar and ionospheric microwave bursts [5]. In [6] a new direction in chemistry is developed – Supramolecular Chemistry: chemistry outside the molecule itself which describes compound substances formed as a result of association of two or more particles linked together by intermolecular forces. By analogy supramolecular physics is physics outside the molecules (atomic-molecular core) at which evolution into composite formations (clusters) the environmental electromagnetic radiation takes part being absorbed by those components of molecular complex which are excited to Rydberg states and thus increasing stability of the molecular complex [7].

3. Therefore, during the solar radio emission bursts and especially during the sporadic increases of the ionospheric microwave Rydberg emission intensity (during the solar EUV and X-ray flares as well as during geomagnetic storms), the population of the Rydberg levels with larger l values induced by the absorption of the increased microwave flux in the "collisional dissociative recombination" process will take place [8]. As a result, the probability of the clusterion dissociation in the lower atmosphere will decrease.

Thus, we may conclude, that the microwave flux promotes to the cluster concentration growth out of the water vapours in the troposphere. Then this growth is accompanied by the formation of the optically thin cloudiness or, initially, condensation haze. Optically thin cloudiness in form of the "young", as a rule, fleecy clouds has the density of the ice particles of 10–15 cm^{-3} [9]. Therefore, at

the initial stage of the water vapour molecules' clusterization in the troposphere it is necessary to have about 10–15 Rydberg excited air molecules in cm^3 at the height of the upper cloudiness layer from 10 to 5 km. Indeed, in [8] the three-particle electron-ion "collisional dissociative" recombination was supposed as the basic process of the desintegration of the cluster ions in the presence of the molecular gas at the interpretation of the laboratory experiments with the clusters of the H_20 and CO_2, including the gas pressures corresponding to the atmospheric ones. It consists of two stages. Firstly, the collisions of the electrons and ambient gas molecules take place with the Rydberg states occupations (populations), then the electrons of the Rydberg states participate in the without-emission transitions leading to the same recombination as in case of the process with the free electrons. At the same time, it was underlined that the process supposed in [8] dominates under high (atmospheric and even higher) densities of the cluster ion's destructions, and it is due to inelastic electron-molecular collisions with excitation Rydberg states with small angle momentum *l*. The energetic of the process in [8] is related with the energy sink when the electron moves freely in the field of the positive charged ion, and as a result the electron finds himself on a closed orbit, including Rydberg one. It is shown in [8] that the recombination rates depend strongly on the value of the orbital momentum (*l*) of the Rydberg state during the collision: the dissociation probability increases for low *l* and decreases for large *l*. Under the population of the high vibrational levels (the emissive transfers between them are strictly prohibited in the homonuclear molecules), it is possible to transfer the potential energy to the Rydberg state by the second form strikes.

This confirms the adequacy from the energetic point of view of the proposed radiooptical mechanism of the microwave emission participation in the water vapours' clusterization and further – optically thin cloudiness formation. It is possible and the taking into account the influence at the rate of the dissociative recombination the loss of energy of electron at the collisions with neutral molecules on normally open trajectories in the field of the positive ions became closed Rydberg orbits of the neutral system which is formed [8].

1. Pokrovskii, O.M. Climatology of clouds on the results of the international satellite project. *Trudy A.I. Voeikov MGO.* 2012. Is. 565. P. 115–131 (in Russian).
2. Avakyan, S.V. Physics of the Solar–Terrestrial Coupling: Results, Problems, and New Approaches. *Geomagn. Aeron.* 2008. V. 48. № 4. P. 417–424 (in Russian).
3. Avakyan, S.V. and Voronin, N.A. The role of space and ionospheric disturbances in the global climate change and pipeline corrosion. *Izv. Atm. Oceanic Phys.* 2011.V. 47. № 9. P. 1143–1158.
4. Avakyan, S.V. Problems of climate as a problem of optics. *J. Opt. Techn*. 2013. V. 80. № 11. P. 717–721.
5. Nikol'skii, G.A, Shul'ts, E.O. Spectral and Temporal Variations of the Residual Attenuation in the Near Ultraviolet. *Opt. Atm.. Ocean.* 1991. V. 4. № 9. P. 961–966 (in Russian).
6. Lehn J.-M. *Supramolecular Chemistry. Concepts and Perspectives*. 1995. 271 p.
7. Avakyan S.V. Supramolecular Physics of Environment. *Proc. of the Second K.Ya. Kondratiev's All-Russian sci. Conf. "Ecology and space"*. SPb.: A.F. Mojaiskii Military-Space Acad. 2012. P. 372–379 (in Russian).
8. Bates D.R. Electron-ion recombination in an ambient molecular gas. *J. Phys. B.* 1981. V. 18. № 14. P. 3525–3535.
9. Ivlev L.S. Aerozol impact at the climate processes // *Opt. Atm. Ocean.* 2011. V. 24. № 05. P. 392–410 (in Russian).

Особенности пространственного распределения оптических и микрофизических характеристик аэрозоля на маршруте Северного морского пути

Кабанов Д.М.[1], Полькин Вас.В.[1], Полькин Вик.В.[1], Сакерин С.М.[1] (sms@iao.ru), Бобриков А.А.[2], Шмирко К.А.[2], Радионов В.Ф.[3] (vradion@aari.ru)

[1]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, *634021* Томск, Россия

[2]Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, ул. Радио *5, 690041* Владивосток, Россия

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

Летом 2013 г. были проведены исследования атмосферного аэрозоля в арктических рейсах НЭС «Академик Федоров» (17.08–22.09) и «Профессор Хлюстин» (24.07–07.09).

Первый рейс проходил преимущественно в широтном направлении – от Белого моря до северо-восточных окраин моря Лаптевых; второй – в меридиональном направлении от Владивостока в Чукотское море и, затем в обратном направлении, на запад до Певека. По-видимому, впервые за относительно короткий период получены характеристики аэрозоля на всем протяжении Северного морского пути. В докладе представлены результаты измерений счетной (NA) и массовой (MA) концентрации аэрозоля, концентрации «сажи» (MBC) и аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы в диапазоне спектра 0.34–2.14 мкм.

Концентрации аэрозоля и «сажи». Максимальные концентрации аэрозоля в арктической атмосфере по маршруту НЭС «Академик Федоров» отмечены в районе Кольского полуострова (NA = 6.5 см$^{-3}$; MA = 1287 нг м$^{-3}$). По мере продвижения судна до моря Лаптевых они снизились на 10–30%: NA = 2.5–5.7 см$^{-3}$; MA = 826–926 нг м$^{-3}$. Более существенный спад отмечен у концентрации «сажи»: в северной части маршрута MBC уменьшились в 6 раз – от 139 нг м$^{-3}$ вблизи Кольского полуострова до 22 нг м$^{-3}$ в северо-восточной части маршрута. В еще большем диапазоне значений изменялись концентрации аэрозоля и «сажи» над дальневосточными морями: NA – от 0.003 до 90.2 см$^{-3}$; MA – от 1 до 13630 нг м$^{-3}$; MBC – от 2 до 400 нг м$^{-3}$.

Вариации аэрозольных параметров определялись как пространственным распределением, так и изменением гидрометеорологических условий. Усреднение данных в пределах четырех широтных зон, соответствующих отдельным морям, выявило тенденцию широтного спада с юга на север: NA уменьшилась в 9 раз (от 23.7 см$^{-3}$ над Японским морем до 2.5 см$^{-3}$ над Чукотским); MA – в 4 раза; MBC – в 3 раза (от 149 до 51 нг м$^{-3}$). Вместе с тем, при движении в северном направлении с увеличением широты наблюдался рост относительного вклада грубодисперсного аэрозоля в общую концентрацию частиц. Этому способствовало не только ослабление выносов мелкодисперсного аэрозоля с континента, но и увеличение содержания крупных солевых частиц под влиянием большей скорости ветра и волнения в высоких широтах. По относительному содержанию двух фракций аэрозоля достаточно хорошо выделились зоны средних широт, где относительный вклад крупных частиц составляет 0.01, и высоких широт (> 64 с.ш.), где соотношение двух фракций увеличивается до 0.045.

АОТатмосферы. В дополнение к данным судовых измерений АОТ были привлечены результаты береговых наблюдений в Баренцбурге (Шпицберген), Тикси и Владивостоке. Среди арктических районов наиболее высокие замутнения наблюдались в Баренцбурге: например, в области 0.5 мкм средние АОТ составили 0.053. По-видимому, это было обусловлено влиянием местных источников и выносов аэрозоля со стороны Европы. АОТ в Сибирском секторе Арктики и в Беринговом море характеризовалась малыми и примерно одинаковыми значениями – средние АОТ составили 0.03 (мелкодисперсная компонента – 0.021, грубодисперсная – 0.009). Для сравнения отметим, что АОТ над арктическими морями в 5 раз ниже, чем в фоновых районах Сибири и в 1.5–2 раза меньше, чем в районе Шпицбергена. Высокой прозрачности арктической атмосферы способствовало то, что в бореальной зоне Евразии не было мощных лесных пожаров. В пространственном распределении АОТ над дальневосточными морями хорошо проявляется рост в южном направлении: над Беринговом морем значения всех характеристик как в Арктике, у берегов Камчатки они больше в 1.5–2 раза, а над Японским морем различие достигает 4–6 раз. Основное влияние на широтное распределение АОТ оказывает мелкодисперсная компонента.

Исследования выполняются при финансовой поддержке программы партнерских фундаментальных исследований СО РАН (проект №25) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН №18.

Specific features of the spatial distribution of aerosol optical and microphysical characteristics along Northern sea route

D.M. Kabanov[1], Vas.V. Polkin[1], Vik.V. Polkin[1], S.M. Sakerin[1] (sms@iao.ru),
A.A. Bobrikov[2], K.A. Shmirko[2], V.F. Radionov[3] (vradion@aari.ru)
[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*
[2]*Institute of Automatics and Control Processes FEB RAS, 5 Radio str., 690041 Vladivostok, Russia*
[3]*Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 St. Petersburg, Russia*

Atmospheric aerosol was studied during summer 2013 in Arctic cruises of RVs "Akademik Fedorov" (August 17–September 22) and "Professor Khlyustin" (July 24–September 7). The first cruise followed predominately in latitudinal direction, from the White Sea to northeastern margins of the Laptev Sea; and the second cruise was in meridional direction from Vladivostok to Chukchi Sea and then westward to the Port of Pevek. The aerosol characteristics seem to be obtained for the first time within relatively short period through entire stretch of the Northern Sea Route. In the report, we present measurements of aerosol number (NA) and mass (MA) concentrations, "black carbon" concentration (MBC), and aerosol optical depth (AOD) of the atmosphere in the wavelength range of 0.34–2.14 m.

Aerosol and "black carbon" concentrations. The aerosol concentrations in the Arctic atmosphere along the route of RV "Akademik Fedorov" were found to be maximal in the region of the Kola Peninsula (NA = 6.5 cm^{-3}; MA = 1287 ng m^{-3}). As the vessel moved to the Laptev Sea, they decreased by 10–30%: NA = 2.5–5.7 cm^{-3}; MA = 826–926 ng m^{-3}. More significant decrease was revealed for "black carbon" concentration: MBC decreased by a factor of 6 in the northern part of the route, from 139 ng m^{-3} near the Kola Peninsula to 22 ng m^{-3} in northeastern part of the route. The aerosol and "black carbon" concentrations varied in wider ranges over Far East seas: NA varied from 0.003 to 90.2 cm-^{3}; MA varied from 1 to 13630 ng m^{-3}; and MBC varied from 2 to 400 ng m^{-3}.

The variations in aerosol parameters were determined both by the spatial distribution and changes in hydrometeorological conditions. Data averaging within four latitudinal zones, corresponding to separate seas, revealed a tendency of latitudinal decrease from south to north: NA decreased by a factor of 9 (from 23.7 cm^{-3} over the Japan Sea to 2.5 cm^{-3} over the Chukchi Sea); MA decreased by a factor of 4; and MBC decreased by a factor of 3 (from 149 to 51 ng m^{-3}). At the same time, when moving in a northerly direction, we observed an increasing relative contribution of coarsely dispersed aerosol to the total particle concentration. This was favored not only by weakening of outflows of finely dispersed aerosol from continent, but also by increases in the content of large salt particles under the influence of stronger wind speed and sea roughness at high latitudes. With respect to relative contents of two aerosol fractions, quite salient features were characteristic for midlatitude zones where the relative contribution of large particles was 0.01, and for high latitudes (> 64 N) where the relationship between two fractions increased to 0.045.

Atmospheric AOD. In addition to data of ship-based AOD measurements, we also employed coastal observations in Barentsburg (Spitsbergen), Tiksi, and Vladivostok. The highest turbidities were observed in Barentsburg, among the Arctic regions; for instance, average AOD values were 0.053 in the region of 0.5 μm. Seemingly, this was due to the effect of local sources and aerosol outflows from the direction of Europe. Siberian sector of Arctic and the Bering Sea were characterized by small and nearly identical AOD values: average AOD values were 0.03 (0.021 for finely dispersed component and 0.009 for coarsely dispersed component). As a matter of comparison, we note that AOD values over Arctic Seas were a factor of 5 lower than in background regions of Siberia, and a factor of 1.5–2 smaller than in the region of Spitsbergen. High transparency of the Arctic atmosphere was favored by the fact that there no severe forest fires were present in the boreal zone of Eurasia. Growth in the southern direction is well pronounced in the spatial distribution of AOD over Far East seas: as compared to Arctic, all characteristics were the same in the Bering Sea, they were a factor of 1.5–2 larger near the coasts of Kamchatka, and the difference reached a factor of 4–6 over the Japan Sea. Finely dispersed component has major effect on the latitudinal distribution of AOD.

These works were supported by the project no. 25 of Partnership Research, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences and the Program of Basic Research of Presidium of the Russian Academy of Sciences no. 18.

Аэрозольная оптическая толщина атмосферы в диапазоне спектра **0.34–2.14** мкм на архипелаге Шпицберген **(2011–2014** гг.**)**

Кабанов Д.М.[1], Сакерин С.М.[1] (sms@iao.ru), Радионов В.Ф.[2] (vradion@aari.ru)
[1]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, *634021* Томск, Россия
[2]Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга *38, 199397* Санкт-Петербург, Россия

В последнее годы проблема изучения и контроля климатического и экологического состояния Арктики включена в число приоритетных направлений фундаментальных и прикладных исследований. Регулярные наблюдения оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля в светлое время года (апрель–сентябрь) на территории Российского научного центра «Шпицберген» (пос. Баренцбург) были начаты в 2011 г. Кроме микрофизических характеристик аэрозоля в приземном слое [1], измеряется спектральная аэрозольная оптическая толщина (АОТ) и влагосодержание атмосферы с помощью портативного солнечного фотометра SPM в спектральном диапазоне 0.34–2.14 мкм) [2]. По результатам фотометрических наблюдений определяется спектральный ход АОТ, параметры Ангстрема и β, а также величины АОТ, за которые ответственны мелко- и грубодисперсные фракции аэрозоля. Методики расчета указанных характеристик и анализ их изменчивости за трехлетний период измерений представлены в работах [3, 4].

С учетом новых данных, полученных в 2014 и 2015 гг., приводятся статистические характеристики АОТ, измеренные в «весенние», «летние» и «осенние» циклы наблюдений. Обсуждаются особенности спектральной зависимости и сезонной изменчивости АОТ атмосферы, в том числе, с учетом экстраполяции данных на период полярной ночи. Приводятся оценки межгодовой изменчивости аэрозольного замутнения арктической атмосферы и влияния выносов аэрозоля со стороны Евразии.

Авторы выражают благодарность организаторам и участникам экспедиций «Шпицберген 2011–2014» Л.М. Саватюгину, И.Ю. Соловьяновой, А.Н. Прахову, Д.Г. Чернову, Ю.С. Турчиновичу за помощь в проведении исследований. Со стороны РАН работы выполнялись при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 23(18).

1. Сакерин С.М., Чернов Д.Г., Кабанов Д.М. и др. Предварительные результаты исследований аэрозольных характеристик атмосферы в районе Баренцбурга (Шпицберген) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. Т. 91. № 1. С. 20–31.
2. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П. и др. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 12. С. 1112–1117.
3. Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В. и др. Информационная система для сетевых солнечных фотометров // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 61–67.
4. Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Кабанов Д.М. и др. О результатах исследований аэрозольной оптической толщи атмосферы в арктических районах // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 5. С. 413–423.

Atmospheric aerosol optical depth in the wavelength range of 0.34–2.14 m on Spitsbergen Archipelago (2011–2014)

D.M. Kabanov[1], S.M. Sakerin[1] (sms@iao.ru), V.F. Radionov[2] (vradion@aari.ru)
[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*
[3]*Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 St. Petersburg, Russia*

The problem devoted to studying and monitoring the climatic and ecologic state of Arctic has recently been included in the list of priority directions of basic and applied studies. Regular observations of optical and microphysical characteristics of atmospheric aerosol in sunlit portion of the year (April–September) on the territory of Russian scientific center “Spitsbergen” (Barentsburg

settlement) were initiated in 2011. In addition to microphysical characteristics of aerosol in the near-ground layer [1], spectral aerosol optical depth (AOD) and water vapor content of the atmosphere are measured with the help of SPM portable sun photometer in the wavelength range of 0.34–2.14 μm [2]. The results of photometric observations are used to determine the spectral behavior of AOD, Ångström parameters and β, as well as AOD values, for which the finely and coarsely aerosol fractions are responsible. The methods for calculating these characteristics and analyzing their variations over the three-year period of measurements are presented in works [3, 4].

Taking into consideration the new data, obtained in 2014 and 2015, we present the statistical characteristics of AOD, measured in “spring”, “summer”, and “autumn” cycles of observations. The specific features of spectral dependence and seasonal variations of atmospheric AOD are discussed, including those obtained taking into account the data extrapolation into the period of polar night. Estimates of the interannual variations in aerosol turbidity of the Arctic atmosphere and the effects of aerosol outflows from the direction of Eurasia are presented.

Authors thank organizers and participants of expeditions “Spitsbergen 2011–2014”: L.M. Savatyugina, I.Yu. Solovyanova, A.N. Prakhova, D.G. Chernova, and Yu.S. Turchinovoch for assistance in research. On the side of the Russian Academy of Sciences, the work was supported by the Presidium of Russian Academy of Sciences (Program of basic research no. 23(18).

1. Sakerin S.M., Chernov D.G., Kabanov D.M. et al. Preliminary results of studying the aerosol characteristics of the atmosphere in the region of Barentsburg, Spitsbergen // *Problemi Arktiki i Antarktiki*. 2012. V. 91. № 1. P. 20–31 (in Russian).
2. Sakerin S.M., Kabanov D.M., Rostov A.P. et al. Sun photometers for measuring the spectral atmospheric transparency under stationary and mobile conditions // *Atm. Oceanic Opt.* 2012. V. 25. № 12. P. 1112–1117.
3. Kabanov D.M., Veretennikov V.V., Voronina Yu.V. et al. Information system for network solar photometers // *Atmos. Ocean. Opt.* 2009. Vol. 22. № 1. P. 121–127.
4. Sakerin S.M., Andreev S.Yu., Kabanov D.M. et al. On results of studies of atmospheric aerosol optical depth in arctic regions // *Atm. Oceanic Opt.* 2014. V. 27. № 6. P. 517–528.

Синхронные измерения загрязнения атмосферы тонкодисперсным аэрозолем в Пекине и на фоновой станции

Емиленко А.С.[1] (emilas@list.ru), Копейкин В.М.[1], Ван Генчень[2], Ван Пусай[2]
[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер.3, Москва, Россия
[2]Институт физики атмосферы КАН, Пекин, Китай

Существенную часть загрязнения атмосферы Пекина тонкодисперсным аэрозолем дают региональные источники, расположенные вне Пекина [1]. Чтобы разделить вклад источников загрязнения различных масштабов (локальные, городские, региональные), был проведен ряд синхронных измерений в двух пунктах, один из которых расположен в горной обсерватории, а другой в центре Пекина. Измерения проводились в основном в осенний период с 2003 по 2014 годы.

В данной работе детально представлены результаты 2014 года и проведено сравнение с данными предшествующих измерений. Показано, что в горной обсерватории можно пренебречь локальными источниками аэрозольного загрязнения, и весь аэрозоль можно считать региональным. Относительное содержание сажи во внутригородских антропогенных источниках аэрозоля значительно выше, чем в региональных [2]. Относительное содержание сажи падает с 2003 по 2013 годы и в Пекине и в горной обсерватории, в то время как усиливаются смоговые ситуации, и концентрация тонкодисперсного аэрозоля растет. Наблюдается высокая корреляция уровней загрязнения сажей и тонкодисперсным аэрозолем в Пекине и горной обсерватории.

В Пекине преобладают либо северо-западный перенос воздушных масс при высоких скоростях ветра, либо перенос воздушных масс с южного сектора, при этом скорости ветра слабые. При северо-западном переносе фоновые значения существенно ниже городских концентраций и можно выделить ситуации, когда ими можно пренебречь. При южном секторе формирования воздушных масс происходит накопление аэрозоля на обширной

густонаселенной территории Северо-восточной долины, и концентрация регионального аэрозоля существенно превышает загрязнение самим городом.

Эта работа частично поддержана Российским Фондом фундаментальных исследований: проекты 13-05-00956_а и 14-05-91160_а ГФЕН.

1. Ван Ген Чен, Гречко Е.И., Емиленко А.С. и др. Результаты совместных измерений окиси углерода в толще атмосферы и субмикронного аэрозоля в приземном слое в Пекине // Оптика атм. океана. 2003. Т. 16. № 1. С. 45–51.
2. Емиленко А.С., Копейкин В.М. Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки // Оптика атм. океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 535–540.

Simultaneous measurements of air pollution by fine particles in Beijing and at the background site

A.S. Emilenko[1] (emilas@list.ru), V.M. Kopeikin[1], Wang Gengchen[2], Wang Pucai[2]
[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., Moscow, Russia*
[2]*Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing, China*

Significant part of the Submicron Aerosol (SA) and Black Carbon (BC) pollutions in Beijing is caused by regional sources [1]. In order to separate the effect of sources of different scales (local, urban, regional), synchronous observations of the aerosol optical characteristics and BC content were fulfilled at two sites. One is located in the north part of Beijing and another – at the distance of more then 100 km to the north-east from the city at Xinglong mountain observatory. Measurements were carried out mainly in the fall period from 2003 to 2014.

In the present paper, we analyze in detail results of 2014 and compare them with the data of previous measurements. It has been revealed that at Xinglong mountain observatory (background station) the contribution of the local sources is negligible. The value of the BC relative content in aerosol particles allows to distinguish the contribution of local and regional sources in air pollution. The BC fraction due to the local sources of anthropogenic aerosol is much higher than regional [2]. The mean BC relative content decreased from 2003 to 2014 both in Beijing and the mountain observatory, while the mean content of the fine aerosol and the probability of a strong smog increased. A high correlation between the pollution levels of BC and SA in Beijing and the mountain observatory was found.

In Beijing, northwest transport of air masses at high wind speeds, or transport of air masses from the southern sector, with weak wind speed are predominant. At the north-west transport, background values significantly less than the input of the megacity, and can be neglected. At the southern sector of the formation of air masses, they accumulate aerosol from extensive aerosol sources in the North-East Valley, and regional aerosol pollution significantly exceeds Beijing input.

This work was supported in part by Russian Foundation for Basic Research under Projects 13-05-00956 and 14-05-91160.

1. Wang Geng Chen., Grechko E.I., Emilenko A.S. et al. Simultaneous measurements of carbon monoxide column density andsubmicron aerosol in the atmospheric boundary layer over Beijing // Atm. Oceanic Opt. 2003. V. 16. № 01. P. 38–43.
2. Emilenko A.S., Kopeikin V.M.. Combined data comparison of mass concentrations of submicron aerosol and soot in regions with different levels of anthropogenic load // Atm. Oceanic Opt. 2009. V. 22. № 6. P. 535–540 (in Russian).

Широтная зависимость характеристик аэрозоля в приводном слое атмосферы на маршруте НЭС «Академик Трешников» в 59 РАЭ

Терпугова С.А.[1] (swet@iao.ru), Полькин В.В.[1], Савкин Д.Е.[1], Радионов В.Ф.[2]
*1*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева *1, 634055* Томск, Россия
[2]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга *38, 199397* Санкт-Петербург, Россия

В период с 1 февраля по 9 июня 2014 года с борта НЭС «Академик Трёшников» проводились исследования пространственно-временной изменчивости микрофизических параметров приводного аэрозоля (массовой M_a и счетной N_a концентрации частиц аэрозоля диаметрами 0.3 5 мкм, а также массовой концентрации M_{bc} поглощающего вещества («сажи» в субмикронном аэрозоле) в соответствии с программой наблюдений в 59-й Российской Антарктической Экспедиции по маршруту: «Санкт-Петербург–Бремерхафен–Кейптаун–Новолазаревская–Прогресс–Кейптаун–Бремерхафен–Санкт-Петербург».
Измерения параметров аэрозоля проводились с помощью портативной аэрозольной станции, состоящей из: фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц АЗ-10, оценивающего счетную N_a и массовую концентрации M_a; измерителя массовой концентрации M_{bc} поглощающего вещества (разработка ИОА СО РАН) типа аэталометра. Разделение маршрута в 59-й РАЭ на прямой и обратный позволило выявить некоторые сезонные особенности в широтной зависимости аэрозольных параметров для выделенных районов: «Европа» – 33 55 с.ш.; «Африка» – 30 с.ш. 30 ю.ш.; «Антарктика и станции» – широты выше 50 ю.ш. Прямой и обратный маршруты района «Африка» были разбиты на два: 30 с.ш. 0 с.ш. и 0 ю.ш. 30 ю.ш., которые практически совпадали с северным и южным тропиками. Район с координатами широты выше 50 ю.ш., в который входили и прибрежные антарктические станции Новолазаревская, Молодежная и Прогресс, обозначался как «Антарктика и станции».

Повышенные значения N_a и M_a, наблюдаемые в зимний период для северного тропика (N_a = 40.8 см$^{-3}$, M_a = 14.75 мкг/куб.м), смещаются в весенний период на широты южного тропика (N_a = 29.11 см$^{-3}$, M_a = 12.11 мкг/куб.м). Максимум M_{bc} для 0 20 с.ш. (0.57 мкг/куб.м) отмеченный в зимний период, трансформируется для весеннего периода в два менее интенсивных максимума на 0 10 ю.ш. (0.107 мкг/куб.м) и 10 20 с.ш. (0.196 мкг/куб.м). Средние значения концентраций N_a, M_a и M_{bc} вблизи Антарктиды имеют тенденцию к уменьшению с 2004 по 2014 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта №23.1 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология», программы партнерских фундаментальных исследований СО РАН (проект №25) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН №18.

Latitudinal dependence of the aerosol characteristics in the near-water atmospheric layer along the RV “Akademik Treshnikov” in 59-th Russian Antarctic Expedition

S.A. Terpugova[1] (swet@iao.ru), V.V. Pol’kin[1], D.E. Savkin[1], V.F. Radionov[2]
[1]V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia
[2]Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 St. Petersburg, Russia

Investigations of spatial-temporal variability of the microphysical characteristics of near-water aerosol (mass M_a and number N_a concentrations of aerosol particles with the diameter 0.3–5 m, and mass concentration of black carbon M_{bc} were carried out since February 1 till June 9, 2014 onboard the Research Vessel “Akademik Treshnikov” according to the program of observations of 59-th Russian Antarctic Expedition on the path “Saint Petersburg–Bremerhafen–Cape Town–Novolazarevskaya–Progress–Cape Town–Bremerhafen–Saint Petersburg”.
Measurements of the aerosol parameters were carried out by means of a portable aerosol station

consisting of the AZ-10 optical counter of aerosol particles capable of estimating the number and mass concentrations and the device for measuring the mass concentration of absorbing substance designed at Institute of Atmospheric Optics SB RAS. Separate consideration of forward and return paths made it possible to reveal some seasonal peculiarities of the latitudinal dependence of the aerosol parameters in the following regions: “Europe” – 33–55° N, “Africa” – 30° N–30° S, “Antarctica and stations” – to the south from 50° S. Forward and return paths of the region “Africa” were divided into to parts 30° N–0° N and 0° S–30° S, which practically coincided with the northern and southern tropics. The region with coordinates greater than 50° S, which included coastal Antarctic stations Novolazarevskaya, Molodezhnaya and Progress, was marked as “Antarctica and stations”.

The enhanced values N_a and M_a observed in winter at the northern tropic (N_a = 40.8 cm^{-3}, M_a = 14.75 g/cub.m) are shifted in spring to the latitudes of the southern tropic (N_a = 29.11 cm^{-3}, M_a = 12.11 g/cub.m). The maximum concentration M_{bc} for the part 0–20° N (0.57 g/cub.m) observed in winter is transformed in spring to two less intensive maxima at 0–10° S (0.107 g/cub.m) and 10–20° S (0.196 g/cub.m). The mean values of the concentrations N_a, M_a and M_{bc} near Antarctica show the tendency to decrease since 2004 till 2014.

The work was supported in part by Project No 23.1 of the Program for basic research of Presidium RAS, the Partnership program for basic research SB RAS (project No. 25) and the Program for basic research of Presidium RAS No. 18.

Радиационные и температурные эффекты дымового аэрозоля в Московском регионе при лесных пожарах летом 2010 г.

Горчакова И.А. (gengor@ifaran.ru), Мохов И.И., Свириденков М.А., Аникин П.П.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

Дымная мгла существенно влияет на радиационный режим атмосферы. До сих пор недостаточно изучены радиационные эффекты дымового аэрозоля в длинноволновой области спектра. Для определения оптических и микрофизических параметров аэрозоля в вертикальном столбе атмосферы необходимо знать его функцию распределения частиц по размерам и комплексный коэффициент преломления. Сильные лесные и торфяные пожары наблюдались в Подмосковье летом 2010 г. Параметры дымового аэрозоля во время этих пожаров определялись по данным станции AERONET, расположенной на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (55 N, 36 E).

Вероятность выживания кванта в коротковолновой области спектра достигала 0.95–0.98. В первом приближении можно предположить, что поглощательная способность дымового аэрозоля определяется черным углеродом. Невысокая конденсационная активность дымового аэрозоля свидетельствует о сравнительно малом содержании в частицах аэрозоля водно-растворимых минеральных соединений (сульфаты, нитраты) и большом содержании органических веществ, которые могут поглощать длинноволновую радиацию. С использованием стандартных моделей (OPAC, WCP-112) разработана модель микрофизических и радиационных характеристик тонкодисперсного аэрозоля в длинноволновой области для безоблачной атмосферы. Получены предварительные оценки аэрозольного радиационного форсинга на границах задымленной атмосферы, а также изменения температуры приповерхностного слоя атмосферы.

Работа частично поддержана РФФИ (грант №13-06-00956).

Radiative and temperature effects of the smoke aerosol in Moscow region during forest fire in summer 2010

I.A. Gorchakova (gengor@ifaran.ru), I.I. Mokhov, M.A. Sviridenkov, P.P. Anikin
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhyovskiy per. 119017 Moscow, Russia

Smoke haze affects significantly the radiative regime of the atmosphere. Longwave radiative impact in the smoky atmosphere is not clearly investigated. It need to know the size distribution function and complex index of refraction for the optical and microphysical aerosol parameters retrieving in the atmospheric column. Smoke aerosol parameters have been determined in Moscow region during forest fires in Summer 2010 using AERONET data received, in particular, at Zvenigorod Scientific Station of A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics (55 N, 36 E).

Single scattering albedo for the shortwave radiation in accordance to AERONET data reached 0.95 -0.98. It may be suggested that the shortwave radiation absorption is only determined by black carbon as a first approximation. Small condensation activity of the smoke aerosol indicates about the modest content of the water soluble mineral compounds (sulfate) in the aerosol particles and about abundant organic compounds which can absorb infrared radiation. Preliminary model of the optical and microphysical parameters of the fine aerosol in the longwaves using standart of models (OPAC, WCP-112). Preliminary estimation of the aerosol radiative forcing at the upper and bottom boundaries of the atmosphere and the temperature variation in the surface layer were obtained.

The work is supported partly by RFBR (grant № 13-05-00956).

Методы определения вертикальных потоков аэрозоля с опустыненных территорий

Карпов А.В. (karpov@ifaran.ru)
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

Для надежной оценки количества аэрозоля, поступающего в атмосферу с опустыненных территорий, необходимо измерять вертикальные потоки аэрозоля. Вертикальный перенос аэрозоля в атмосфере осуществляется турбулентностью. Поэтому задача сводится к измерению вертикального турбулентного потока аэрозоля, который определяется как ковариация между флуктуациями концентрации аэрозоля [1] и турбулентными пульсациями вертикальной компоненты скорости ветра.

Флуктуации концентраций частиц аэрозоля с различными размерами измерялись с помощью фотоэлектрических счетчиков частиц аэрозоля, а пульсации компонент скорости ветра – с помощью акустической метеостанции Метео-2. Для оценки турбулентных потоков аэрозоля используются также градиентные методы [2]. Была подготовлена аппаратура для измерения вертикальных потоков аэрозоля корреляционным и градиентным методами.

Выполнены измерения потоков аэрозоля на опустыненных территориях в Калмыкии и Астраханской обл. Получены оценки скорости выноса аэрозоля с подстилающей поверхности в атмосферу. Показано, что данные измерений вертикальных турбулентных потов двумя указанными методами удовлетворительно согласуются друг с другом.

Работа частично поддержана РФФИ (проект № 14-05-00523).

1. Карпов А.В. Флуктуации микроструктуры грубодисперсного и субмикронного аэрозоля на опустыненной территории // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 10. С. 844–849.
2. Семёнов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. Алматы: КазНИИЭК. 2011. 580 с.

Methods for detemining the vertical aerosol fluxes from desertified areas

A.V. Karpov (karpov@ifaran.ru)
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhyovskiy per., 119017 Moscow, Russia

For reliable assessment of the aerosol amount coming from desertified areas it is necessary to measure vertical aerosol fluxes. In the atmosphere vertical aerosol transport is performed by the turbulence. Therefore the problem reduces to the measurement of the vertical turbulent aerosol flux which is defined as the product of aerosol concentration fluctuations [1] by pulsatitions of the vertical velocity.

Fluctuations of the aerosol particle concentrations with varius sizes were measured by the use of the photoelectric particle counters and the vertical wind velocity were determined using the acoustic meteorological station "Meteo-2". Gradient method [2] is used also for vertical aerosol flux assessment. The instrument was created for vertical aerosol flux measurements using correlation and gradient methods.

Aerosol flux measurements were carried out in Kalmykia and Astrakhan region. The quantitative estimates of the aerosol uplift velocity from the underlying surface have been received. It is shown that data on turbulent aerosol fluxes measured by two above mentioned methods correlate satisfactory.

The work was partly supported by RFBR (grant № 14-05-00523).

1. Karpov A.V. Fluctuations of microstructure of the coarse and fine aerosols in arid zones // Atm. Oceanic Opt. 2008. V. 21. № 10. P. 733–737.
2. Semenov O.E. *An Introduction into the Experimental Meteorology and Climatology of Sand Storms.* Alma-Aty: KazNIIEK. 2011. 580 p. (in Russian).

Расчетно-аналитические закономерности свойств основной и последующих радуг

Романов Н.П. (vernik@rpatyphoon.ru)
НПО “Тайфун”, ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Калужская обл., Россия

Наблюдаемая в природе основная радуга вызывает неописуемые эмоции у человека. Эта радуга определяется сложением двух ветвей парциального луча $p = 2$ с двумя проходами внутри капли. Расположенная по соседству радуга $^{p} = 3$ имеет более слабую яркость, но почти всегда наблюдается при наличии основной. Принципиально явление радуги существует и для всех последующих парциальных лучей с $p = 4$, 5, 6 и т.д. [1]. Однако их проявление не поддается простому наблюдению. Для радуг $p = 4$ и 5 этому препятствует наличие в районе их проявления интенсивного рассеяния луча $p = 1$. Радуги $p = 6$ и 7 частично расположены в зоне темного пространства в интервале углов 129–138°, где присутствует только отраженный луч $p = 0$. Наблюдению этих радуг препятствует их слабая интенсивность. Несмотря на указанные выше трудности за последнее время удалось получить фотографическую регистрацию радуг $p = 4$, 5 и 6, о чем сообщается в работах [2], [3] и [4], соответственно. Проведенное в работе [4] сопоставление наблюдаемых и расчетных характеристик для радуги $p = 6$ для сферических частиц с радиусами 0.25–0.5 мм показывает возможность реализации в природе дождей с каплями сферической формы таких размеров. В нашей предыдущей работе [1] на примере одного показателя преломления $m = 4/3$ показано, что для сферических частиц все основные характеристики индикатрисы рассеяния, в том числе и в районе радуг, получаемые с использованием точной теории Ми, воспроизводятся с помощью понятий физической оптики (интерференция, дифракция) с добавлением явлений резонансного рассеяния. Отсюда следует, что основная осцилляционная структура радуг формируется за счет интерференции восходящих и нисходящих ветвей. Однако влияние этой осцилляционной структуры на визуальную картину даже основной радуги в литературе практически не исследовано.

В данной работе анализируется изменение характеристик радуг при варьировании показателя преломления в диапазоне видимых длин волн. При этом оказывается, что для мелких капель радиусом около 0.15 мм в основной радуге должны появляться дополнительные цветовые полосы после обычно принимаемой за границу фиолетовой полосы. Это происходит при совпадении первого минимума фиолетовой полосы со вторым максимумом красной. Поскольку ситуации мелкокапельных дождей в природе редки, о чем свидетельствует только одна работа [4], мы промоделировали мелкокапельный дождь методом распыления. При этом удалось визуально наблюдать двойную цветовую структуру и зафиксировать ее фотографически. Автор часто наблюдал в природной радуге наличие желтой кромки со стороны больших углов рассеяния, что объясняется исследованным эффектом. В работе анализируется также возможность наблюдения радуги p = 7 .

1. Романов Н.П., С.А. Бородин, С.О. Дубниченко, Л.Д. Новикова. Крупномасштабная структура и асимптотические закономерности индикатрисы рассеяния света каплями воды в видимом диапазоне // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 9. 734–748.
2. Grossmann M., E. Schmidt, A. Haussmann. Photographic evidence for the third- order rainbow // *Appl. Opt.* 2011. V. 54. № 4/1. P. F134–F141.
3. Theusner M. Photographic observation of a natural fourth-order rainbow // *App. Opt.* 2011. V. 50. № 4/1. P. F129–F133.
4. Edens H.E. Photographic observation of a natural fifth-order rainbow // *Appl. Opt.* 2015. V. 54. № 4/1. P. B26–B34.

Calculated and analytic regularities of primary and subsequent rainbows characteristics

N.P. Romanov (vernik@rpatyphoon.ru)

Research and Production Association “Typhoon”, 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia

The primary rainbow observed in nature evokes indescribable human emotions. This rainbow is determined by summation of two branches of a partial beam $p = 2$ with two paths inside a drop. The adjacent rainbow $p = 3$ is less luminous but is almost always observed in the presence of the primary rainbow. In principle, the phenomenon of a rainbow also exists for all the consequent partial beams with $p = 4$, 5, 6, etc. [1]. But their appearance cannot be explained by simple observation. For rainbows $p = 4$ and 5, intensive beam scattering $p = 1$ in the region of rainbow appearance hinders observations. Rainbows $p = 6$ and 7 are partially located in dark zones within the angles of 129–138°, where only the reflected beam $p = 0$ is present. These rainbows cannot be observed because of their negligibly small intensity. Despite the above difficulties, the rainbows $p = 4$, 5 and 6 have been photographically evidenced in [2], [3] and [4], correspondingly. The comparison made in [4] of observed and calculated characteristics of rainbow p = 6 for spherical particles with radii 0.25–0.5 mm demonstrates a possibility to realize in nature rains with spherical drops of such sizes. In our previous work [1] with the example of one refraction index $m = 4/3$ it has been shown that for spherical particles all the basic phase scattering function characteristics, in the rainbow region as well, obtained with the precise Mie theory are reproduced with the physical optics concepts (interference, diffraction) with adding resonance scattering. From this it follows that the main oscillation rainbow structure is formed due to interference of upward and downward branches. But the effect of this structure on visual image of even the primary rainbow is practically unexplored in literature.

The present paper gives an analysis of the rainbow characteristics change at refraction index variability within the visible wavelengths. It is shown that for fine droplets with a radius of about 0.15 mm in the primary rainbow additional coloured bands should appear after the violet band usually taken as a boundary. This occurs when the first minimum of the violet band coincides with the second maximum of the red band. As the situations with fine-droplet rains are rare in nature, only one paper is the witness [4], we modeled fine-droplet rain by spraying. So we managed to visualize a double coloured structure and photographed it. The author often observed in nature the

presence of a yellow brim from the side of big scattering angles that is explained by the effect studied. We also analyzed in the paper a possibility to observe the rainbow $p = 7$.

1. Romanov N.P., S.A. Borodin, S.O. Dubnichenko, L.D. Novikova. Large-scale structure and asymptotic regularities of scattering phase function for water drops in the visible spectrum range // *Atm. Oceanic Opt.* 2014. V. 27. № 1. P. 33–47.
2. Grossmann M., E. Schmidt, A. Haussmann. Photographic evidence for the third- order rainbow // *Appl. Opt.* 2011. V. 54. № 4/1. P. F134–F141.
3. Theusner M. Photographic observation of a natural fourth-order rainbow // *App. Opt.* 2011. V. 50. № 4/1. P. F129–F133.
4. Edens H.E. Photographic observation of a natural fifth-order rainbow // *Appl. Opt.* 2015. V. 54. № 4/1. P. B26–B34.

Variability of the UV and shortwave broadband transparency coefficients at the ARG station, Kishinev (Moldova)

A.A. Aculinin (akulinin@phys.asm.md), V.P. Smicov, A.A. Policarpov

Institute of Applied Physics ASM, 5 Academiei Str., Kishinev, MD-2028, Moldova

Data from measurements of direct shortwave (SW) solar radiation and UV_b solar radiation (onto the perpendicular plane) are used to compute respective broadband transparency coefficients. Radiometric sensor CH-1 (250–3000 nm) was used to measure the direct SW solar radiation. Two sensors of UV-S-B-C type were used to measure the global and diffuse UV_b solar radiation in spectral band from 280 nm to 315 nm. All measurements were performed at the ground-based solar radiation monitoring station at the Institute of Applied Physics (IAP) of ASM, Kishinev (Moldova). More detail information about the ground station, the instrumentation used, measurement procedures and time series of measured parameters in graphical form is presented at the Atmospheric Research Group (ARG) site: http://arg.phys.asm.md.

Procedure for determining the multiyear (MY) means of broadband transparency coefficients $<P(\mathrm{UVB},m)>_{my}$ and $<P(\mathrm{SW},m)>_{my}$ is based on using of the Bouguer-Lambert law. Procedure takes into account measurements of direct SW and UV_b solar radiation at airmasses $m = 2$ and $m = 3$ for AM&PM hours. Sun-Earth mean distance factor was applied for correction. The following values of the solar irradiance at the top of atmosphere I_o were chosen for determining of the transparency coefficients: $I_o = 1367\ \mathrm{Wm^{-2}}$ for SW radiation and $I_o = 16.92\ \mathrm{Wm^{-2}}$ for UV_b radiation [1]. Measurements fullfilled only under the cloud-free (CF) atmosphere conditions were used. Timeseries of data was composed from observations for the period from 2003 to 2014.

Following broadband transparency coefficients $<P(\mathrm{UVB},m)>_{my}$ and $<P(\mathrm{SW},m)>_{my}$ at airmasses $m = 2$ and $m = 3$ were obtained: $<P(\mathrm{UVB},2)>_{my} = 0.13$ and $<P(\mathrm{UVB},3)>_{my}=0.19$ for UV_b radiation, $<P(\mathrm{SW},2)>_{my}=0.73$ and $<P(\mathrm{SW},3)>_{my}=0.76$ for SW radiation. Looking at the transparency coefficients for SW radiation at m = 2, we draw a conclusion that the tranparency can be characterized as normal. Some differences between broadband transparency coefficients for AM and PM hours were also observed. For example, the following coefficients were obtained in the cases of UV_b and SW solar radiation at $m = 2$:

UVB radiation $<P(\mathrm{UVB},2)>_{my} = 0.13$ for AM and $<P(\mathrm{UVB},2)>_{my}= 0.12$ for PM,

SW radiation $<P(\mathrm{SW},2)>_{my}= 0.74$ for AM and $<P(\mathrm{SW},2)>_{my}=0.72$ for PM.

For the cases of UV_b and SW solar radiation at $m = 2$ and $m = 3$, it was observed a distinctly pronounced seasonal variation of broadband transparency coefficients with respective minimum and maximum values typical for late spring-summer and, respectively, for late fall-winter months. For example, the minimum and maximum of multi-year monthly means of transparency coefficients $<P(\mathrm{UVB},2)>_m$ and $<P(\mathrm{SW},2)>_m$ at m=2 were the following:

UVB radiation min $<P(\mathrm{UVB},2)>_m=0.11$ (Apr.-Aug.) and max $<P(\mathrm{UVB},2)>_m=0.15$ (Oct.);

SW radiation min $<P(\mathrm{SW},2)>_m=0.69$ (May-Aug.) and max $<P(\mathrm{SW},2)>_m=0.82$ (Feb.) .

1. Wehrly C. *Extraterrestrial Solar Spectrum*, Publication no. 615. Physikalisch-Meteorologisches Observatorium + World Radiation Center (PMO/WRC) Davos Dorf, Switzerland, July 1985.

Сравнение аэрозольной оптической толщины атмосферы, полученной по наземным наблюдениям сети **AERONET** и актинометрической сети РФ

Панкратова Н.В.[1] (n_pankratova@list.ru), Махоткина Е.Л.[2], Плахина И.Н.[1]
[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия
[2]Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

На основе инвентаризации данных сети AERONET и наземных актинометрических наблюдений на территории РФ получены оценки сопоставимости значений аэрозольной оптической толщины (АОТ) при различных периодах осреднения. Сравнение проведено для станций, совпадающих по местоположению или близко расположенных.

Рассмотрены (проанализированы) синхронные ряды среднемесячных и дневных значений АОТ за период 2004–2012 гг. Для каждой пары рядов установлены периоды совпадения данных и выявлены случаи нарушения синхронных изменений АОТ. Нарушения синхронности относительного хода АОТ могут быть обусловлены различиями местоположения пунктов наблюдений и связаны как с возможной неоднородностью поля облаков, так и с локальными особенностями состояния атмосферы.

Дополнительно проведено сопоставление данных об АОТ, полученных по наземным и спутниковым наблюдениям. Представленные результаты носят предварительный характер и будут положены в основу систематического анализа данных об АОТ, поучаемых на территории РФ.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-05-05803).

Comparison of the atmospheric optical depths obtained by the data of AERONET and Russian actinometrical networks

N.V. Pankratova[1] (n_pankratova@list.ru), E.L. Makhotkina[2], I.N. Plakhina[1]
[1]A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky 3, 119017 Moscow, Russia
[2]A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, World Radiation Data Center, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

The estimates of comparable values of aerosol optical thickness (AOD) at different averaging periods are obtained on the basis of the data network AERONET and ground based solar radiation observations on the territory of the Russian Federation. A comparison is carried out for stations that match by location or nearby.

Synchronous monthly and daily averaging datasets of AOD for the period 2004–2012 were analyzed. Periods of the data coincidence and violations in synchronous AOD changes were revealed for each set pair. Violations in the synchronicity of AOD relative course may be caused by differences in location of observation points and associated with a possible inhomogeneity of the cloud field as well as with local features of the atmosphere conditions.

Additionally a comparison of AOD data obtained by ground and satellite observations was made. Presented results are preliminary and will be the basis for a systematic analysis of AOD data obtained in the Russian Federation.

This work has been funded by RFBR (project № 15-05-05803).

Параллельное моделирование фотофореза аэрозольных кластеров в разреженной газовой среде

Черемисин А.А.[1,2] (aacheremisin@gmail.com), Кушнаренко А.В.[1], Кузьмин Д.А.[1], Черников С.В.[1], Шнипов И.С.[2]

[1]Сибирский федеральный университет, пр. Свободный *79, 660041* Красноярск, Россия

[2]Институт железнодорожного транспорта, ул. Ладо Кецховели *89, 660028* Красноярск, Россия

В настоящее время фотофорез рассматривается как один из эффектов, способных оказать влияние на распространение аэрозоля в атмосфере Земли. В сочетании с действием на частицу силы тяжести, фотофоретический эффект приводит к явлению гравитофотофореза. Гравитофотофоретические силы способны поднимать вверх частицы, которые подобно частицам сажи хорошо поглощают солнечный свет и ИК излучение Земли в стратосфере и мезосфере Земли [1]. На базе суперкомпьютера СФУ создан программный комплекс, позволяющий моделировать воздействие гравитофотофоретических сил на атмосферный аэрозоль с последующей визуализацией результатов [2].

Функционал программного комплекса выполняет:

– генерацию аэрозольных кластеров с заданной фрактальной размерностью;

– расчет матриц переноса;

– расчет сил, действующих на аэрозольный кластер со стороны газовой среды и моментов этих сил [3];

– моделирование движения аэрозольных кластеров в разреженной газовой среде.

Программный комплекс работает под управлением операционных систем Microsoft Windows и Linux. Может быть использован как отдельная программа, так и библиотека с расширяемым функционалом. В основе лежит параллельный алгоритм, позволяющий выполнять моделирование на широком спектре высокопроизводительных архитектур, включающем кластерные и гибридные платформы [4]. Комплекс обладает высокой степенью масштабируемости, что позволяет использовать ресурсы максимально эффективно.

В докладе представлены результаты применения этого программного комплекса для расчета взаимодействия аэрозольного кластера с разреженой газовой средой, сборки ансамблей аэрозольных кластеров, вычисления фотофоретических сил, действующих на аэрозольные агрегаты из этих ансамблей, воспроизведения динамики аэрозольных кластеров и исследования возникновения различных типов гравитофотофоретического движения этих аэрозольных кластеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-05-01036а).

1. Cheremisin A.A., I. S. Shnipov, H. Horvath, and H. Rohatschek. The global picture of aerosol layers formation in the stratosphere and in the mesosphere under the influence of gravito-photophoretic and magneto-photophoretic forces // *Geophys. Res*. 2011. V. 116. D19204, 15 PP, doi:10.1029/ 2011JD015958.
2. Cheremisin A.A. Transfer matrices and solution of the heat-mass transfer problem for aerosol clasters in a rarefied gas medium by the Monte Carlo method // *Russ. J. Numer. Anal. Math. Model*. 2010.V. 25. № 3. P. 209–233.
3. Моделирование движения аэрозольных кластеров в разреженной газовой среде / В «Суперкомпьютерные технологии в науке, образовании и промышленности: Альманах» / Под ред. В.А. Садовничего, Г.И. Савина, В.В. Воеводина. М.: Изд. МГУ. 2014. С. 127–134.
4. Черников С.В., Д.А. Кузьмин, А.В. Кушнаренко. Низкоуровневая оптимизация, основанная на векторизации, в задаче моделирования фотофоретического взаимодействия // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы международной науч. конф. / науч. ред. Е.А. Ваганов. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2014. С. 349–353.

Parallel simulation of aerosol clusters photophoresis in rarified gas medium

Cherimisin A.A.[1,2] (aacheremisin@gmail.com), Kushnarenko A.V.[1], Kuzmin D.A.[1], Chernikov S.V.[1], Shnipov I.S.[2]

[1]*Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., 660041 Krasnoyarsk, Russia*

[2]*Railway Transport Institute, 89 Lado Ketschoveli str., 660028 Krasnoyarsk, Russia*

At present, the photophoresis is considered as one of effects, which capable to influence on distribution of aerosol component in the Earth's atmosphere. In combination with the action of gravity on the particle, the photophoretic effect leads to gravitophotophoresis phenomenon. Gravitophotophoretic forces are able to lift soot-like particles, which strongly absorb solar light and IR Earth's radiation, in the Earth's stratosphere and mesosphere [1]. By utilizing processing capacity of SFU supercomputer, a software package is created; it enables to simulate the influence of gravitophotophoretic forces on the atmosphere aerosol with the vitalization of produced results [2].

Software package is able to:

– aerosol clusters construct with a desired fractal dimension;

– calculate transfer matrices;

– calculate gas medium forces influencing on aerosol cluster and their torque [3];

– simulate the aerosol clusters movement in rarified gas medium.

The software package is intended for Microsoft Windows and Linux. It is usable as a separate software program, as well as the extendable library. It is based on a parallel algorithm that allow to perform the simulation in a wide range of high performance architectures, including cluster and hybrid platforms [4]. The software package has a high degree of scalability allowing the use of resources with maximum efficiency.

The report presents the results of applying this software package for calculating the aerosol cluster interaction with rarified gas medium, constructing of aerosol clusters assemblies; calculating the photophoretic forces influencing on aerosol aggregates from these assemblies, simulating the aerosol clusters dynamics, as well as investigating the occurrence of different types gravitophotophoretic movement of these clusters.

This report implemented with financial support of Russian Fund of Fundamental Investigations (Project 13-05-01036a).

1. Cheremisin A.A., I. S. Shnipov, H. Horvath, and H. Rohatschek. The global picture of aerosol layers formation in the stratosphere and in the mesosphere under the influence of gravito-photophoretic and magneto-photophoretic forces // *Geophys. Res*. 2011. V. 116. D19204, 15 PP, doi:10.1029/ 2011JD015958.
2. Cheremisin A.A. Transfer matrices and solution of the heat-mass transfer problem for aerosol clasters in a rarefied gas medium by the Monte Carlo method // *Russ. J. Numer. Anal. Math. Model*. 2010.V. 25. № 3. P. 209–233.
3. Cheremisin A.A., A.V. Kushnarenko, D.A. Kuzmin et al. Simulation of the aerosol clusters motion in the rarefied gas medium/ *Supercomputing Technologies in Science, Education and Industry: Almanac*. Ed. by V.A. Sadovnichiy, G.I. Savin, Vl.V. Voevodin. Moscow: MSU. 2014. P. 127–134 (in Russian).
4. Chernikov S.V., D.A. Kuzmin, A.V. Kushnarenko. Low-level optimization for the photophoretic interaction modeling based on the vectorization / *Regional problems of the remote sensing of the Earth. Conference Proceedings.* Vaganov E.A., Ed.. Krasnoyarsk: SFU. 2014. P. 349–355 (in Russian).

Лидарные наблюдения стратосферного аэрозоля в Томске в весенне-летний период

Новиков П.В.[1] (novikov-pv@yandex.ru), Черемисин А.А.[1,2], Маричев В.Н.[3,4]
[1]Красноярский институт железнодорожного транспорта, ул. Ладо Кецховели *89, 660028* Красноярск, Россия
[2]Сибирский федеральный университет, пр. Свободный *79, 660041* Красноярск, Россия
[3]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пр. Ак. Зуева *1, 634021* Томск, Россия
[4]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина *30, 634050* Томск, Россия

Методом траекторий лагранжевых частиц проведен анализ происхождения стратосферного аэрозоля, зарегистрированного путем лидарного зондирования атмосферы над Томском в 2008–2013 гг. в весенние и летние месяцы. Результаты расчетов обратных траекторий показали, что воздушные массы, содержащие аэрозоль, были принесены из тропического резервуара стратосферного аэрозоля. Малая лидарная станция высотного зондирования атмосферы, действующая в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН [1], позволяет получать протяженные профили стратификации аэрозоля, охватывающие тропосферу, стратосферу и мезосферу. Лидарные наблюдения, проведенные на станции в 2008–2013 гг., показали, что в весенние и летние месяцы на высотах 13–25 км регулярно наблюдались слабые диффузные пики аэрозольного отношения обратного рассеяния, величина которых в среднем не превышала 1.4.

Для анализа происхождения зарегистрированного стратосферного аэрозоля были проведены расчёты обратных изоэнтропийных траекторий воздушных масс, пришедших в Томск во время лидарных наблюдений по методике, описанной в [2]. Траекторный анализ весеннее-летних лидарных наблюдений показал, что диффузные пики на указанных высотах связаны с переносом аэрозоля из тропического стратосферного резервуара, описанного Хитчманом [3] к полюсам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-05-01036а).
Авторы благодарны Метеорологической службе Великобритании (UK Meteorological Office) за представленные данные.

1. Маричев В.Н., Самохвалов И.В. Лидарные наблюдения аэрозольных вулканических слоев в стратосфере Западной Сибири в 2008–2010 гг. // Оптика атм. океана. 2011. Т. 24. № 3. С. 224–231.
2. Черемисин А.А., Маричев В.Н., Новиков П.В. Лидарные наблюдения вулканического аэрозоля в атмосфере над Томском // Метеорология и гидрология. 2011. № 9. С. 46–56.
3. Hitchman M.H., McKay M., Trepte C.R. A climatology of stratospheric aerosol // *J. Geophys. Res*. 1994. V. 99. № D10. P. 20689–20700.

Lidar observations of stratospheric aerosol in Tomsk in spring-summer period

P.V. Novikov[1], A.A. Cheremisin[1,2], V.N. Marichev[3,4]
[1]*Railway Transport Institute, 89 Lado Ketschoveli str., 660028 Krasnoyarsk, Russia*
[2]*Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., 660041 Krasnoyarsk, Russia*
[3]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ak. Zuev pr., 634021 Tomsk, Russia*
[4]*National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia*

Analysis of stratospheric aerosol origin registered by lidar sounding above Tomsk in 2008–2013 was carried out for spring and summer months. The results of backward trajectory calculations had shown that aerosol-containing air masses are transported from tropical reservoir of stratospheric aerosol. The small lidar station of high-altitude atmosphere sounding operating in V.E. Zuev Institute of Atmosphere Optics SB RAS [1] allows to obtain extended aerosol stratification profiles covering troposhere, stratosphere and mesosphere. Lidar observations in 2008–2013 in the spring and the summer months had shown the presense of weak diffuse peaks of aerosol backscattering ratio at altitudes of 13–25 km. The magnitude of these peaks was less than 1.4 on the average.

The calculations of backward isentropic trajectories transfered to Tomsk were carried out by the method described in [2]. The aim of the calculations was to analyse an origin of registered

stratospheric aersosol. The trajectory analysis of the spring-summer lidar observations had shown that diffuse peaks at the indicated altitudes connected with aerosol transport from tropical reservoir to the poles described by Hitchman [3].

The work is implemented with financial support of RFBR (project 13-05-01036a).
Authors are grateful to UK Meteorological office for provided data.

1. Marichev V.N., Samokhvalov I.V. Lidar observations of aerosol volcanic layers in stratosphere of Western Siberia in 2008-2010. // Atm. Oceanic Opt. 2011. V. 24. № 03. P. 224–231 (in Russian).
2. Cheremisin A. A., Marichev V. N., Novikov P. V. Lidar observations of volcanic aerosol content in the atmosphere over Tomsk // *Rus. Met. Hydrology*. 2011. V. 36. № 9. P. 600–607.
3. Hitchman M.H., McKay M., Trepte C.R. A climatology of stratospheric aerosol // *J. Geophys. Res*. 1994. V. 99. № D10. P. 20689–20700.

Химический состав, микроструктура и гигроскопические свойства аэрозольных частиц на станции высотной мачты **“ZOTTO”**

Миронов Г.Н., Рышкевич Т.И. (ryshkevich_t@mail.ru), Миронова С.Ю., Власенко С.С., Михайлов Е.Ф.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

В работе представлены результаты исследований гигроскопических свойств субмикронной и микронной фракций аэрозольных частиц, отобранных на станции высотной мачты “ZOTTO” в Центральной Сибири (61° N; 89° E) с 16 по 21 июня 2013 г. Измерения гигроскопического роста были дополнены химическим анализом частиц. Кроме того, микроструктура и химический состав атмосферных аэрозолей были проанализированы с помощью рентгеновской микро-спектроскопии (STXM-NEXAFS) и просвечивающей электронной микроскопии (TEM). Массовая доля органического углерода составила 61 и 38% от массы частиц для субмикронной и микронной фракции, соответственно. Растворимая доля органического вещества была оценена в 52 и 8% от общей массы частиц для этих фракций. Сульфат аммония был доминирующим неорганическим компонентом для обеих фракций: ~ 34% для субмикронной и ~ 47% для микронной.

Измерения гигроскопического роста проводились в диапазоне относительной влажности 5–99.4% в режимах гидратации и дегидратации с помощью дифференциального анализатора гигроскопических свойств аэрозольных частиц, осажденных на фильтр (FDHA) [1]. Данные измерений показали, что для субмикронных и микронных частиц заметное поглощение воды начинается при одинаковом уровне относительной влажности (~ 70%), в то время как кристаллизация происходит при разной относительной влажности, т.е. при 35% для субмикронных частиц и 50% для микронных частиц. Эта разница (15%) связана с более высоким содержанием органических веществ в субмикронных частицах, что препятствует потере воды в дегидратационных экспериментах.

Для описания и параметризации концентрационной зависимости поглощения воды образцами атмосферного аэрозоля использована модель KIM (kappa mass interaction model) [2], на основе которой рассчитывался массовый $\kappa(m)$ и объемный $\kappa(v)$ параметр гигроскопичности. Величина параметра $\kappa(v)$ для субмикронных и микронных частиц составила ~ 0.15 и ~ 0.36, соответственно. Рассчитанное значение для субмикронной фракции находится в хорошем согласии с данными, представленными для удаленных мест тропических лесов Амазонии ($\kappa(v) \approx 0.15$) и бореальных лесов Колорадо ($\kappa(v) \approx 0.16$).

В целом, полученные данные демонстрируют сильное влияние органического углерода на гигроскопические свойства атмосферных аэрозолей в летний период. Слаборастворимые органические оболочки частиц контролируют гигроскопический рост, фазовые переходы и микроструктурные изменения. Наблюдаемые кинетические ограничения заметно влияют на результаты экспериментов, выполняемых на традиционных полевых приборах (HTDMA, CCNC) с характерными временными масштабами измерений в несколько секунд.

Работа выполнена при поддержке НИР СПбГУ 11.38.650.2013 и ресурсного центра СПбГУ «Геомодель».

1. Mikhailov E.F., Merkulov V.V., Vlasenko S.S. et al. Filter-based differential hygroscopicity analyzer of aerosol particles // *Izv. Atm. Oceanic Phys*. 2011. V. 47. № 6. P. 747–759.
2. Mikhailov, E., Vlasenko, S., Rose, D., Pöschl, U. Mass-based hygroscopicity parameter interaction model and measurement of atmospheric aerosol water up-take // *Atmos. Chem. Phys*. 2013. V. 13. P. 717–740.

Chemical composition, microstructure, and hygroscopic properties of aerosol particles at the Zotino tall tower observatory (ZOTTO), Siberia, during a summer campaigN.

G.N. Mironov, T.I. Ryshkevich (ryshkevich_t@mail.ru), S.Yu. Mironova, S.S. Vlasenko, E.F. Mikhailov

Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

In this study we describe the hygroscopic properties of accumulation- and coarse-mode aerosol particles sampled at the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO) in Central Siberia (61° N; 89° E) from 16 to 21 June 2013. The hygroscopic growth measurements were supplemented with chemical analyses of the samples, including inorganic ions and organic/elemental carbon. In addition, the microstructure and chemical composition of aerosol particles were analyzed by X-ray micro-spectroscopy (STXM-NEXAFS) and transmission electron microscopy (TEM). A mass closure analysis indicates that organic carbon accounted for 61 and 38% of PM in the accumulation mode and coarse mode, respectively. The water soluble fraction of organic matter was estimated to be 52 and 8% of PM in these modes. Sulfate, predominantly in the form of ammoniated sulfate, was the dominant inorganic component in both size modes: ~ 34% in the accumulation vs. ~ 47% in the coarse mode.

The hygroscopic growth measurements were conducted with a filter-based differential hygroscopicity analyzer (FDHA) [1] over the range of 5–99.4% RH in the hydration and dehydration operation modes. The FDHA study indicates that both accumulation and coarse modes exhibit pronounced water uptake approximately at the same RH, starting at ~ 70%, while efflorescence occurred at different humidities, i.e., at ~ ;35% RH for submicron particles vs. ~ 50% RH for supermicron particles. This ~ 15% RH difference was attributed to higher content of organic material in the submicron particles, which suppresses water release in the dehydration experiments.

The kappa mass interaction model (KIM) [2] was applied to characterize and parameterize non-ideal solution behavior and concentration-dependent water uptake by atmospheric aerosol samples in the 5–99.4 % RH range. Based on KIM, the volume-based hygroscopicity parameter, $\kappa(v)$, was calculated. The $\kappa(v)$ value related to the water soluble fraction was estimated to be ~ 0.15 for the accumulation mode and ~ 0.36 for the coarse mode, respectively. The obtained $\kappa(v)$ for the accumulation mode is in good agreement with earlier data reported for remote sites in the Amazon rain forest ($\kappa(v) \approx 0.15$) and a Colorado boreal forest ($\kappa(v) \approx 0.16$).

Overall the present ZOTTO data set, obtained in the growing season, has revealed a strong influence of organic carbon on the hygroscopic properties of the ambient aerosols. The sparingly soluble organic coating controls hygroscopic growth, phase transitions, and microstructural rearrangement processes. The observed kinetic limitations can strongly influence the outcome of experiments performed on multi-second time scales, such as the commonly applied HTDMA (Hygroscopicity Tandem Differential Mobility Analyzer) and CCNC (Cloud Condensation Nuclei Counter) measurements.

This work has been supported by the Saint-Petersburg State University (grant 11.38.650.2013). We thank the “Geomodel” Research Center at the Saint-Petersburg State University.

1. Mikhailov E.F., Merkulov V.V., Vlasenko S.S. et al. Filter-based differential hygroscopicity analyzer of aerosol particles // *Izv. Atm. Oceanic Phys*. 2011. V. 47. № 6. P. 747–759.
2. Mikhailov, E., Vlasenko, S., Rose, D., Pöschl, U. Mass-based hygroscopicity parameter interaction model and measurement of atmospheric aerosol water up-take // *Atmos. Chem. Phys*. 2013. V. 13. P. 717–740.

Исследование сезонной изменчивости атмосферного аэрозоля центральной Сибири

Миронова С.Ю. (s.mironova@spbu.ru), Власенко С.С., Рышкевич Т.И., Шайер В.А., Михайлов Е.Ф.

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

Атмосферные аэрозоли Сибири являются одним из важнейших факторов, контролирующих климат Евразии. Природные пожары и биогенные процессы являются мощными источниками поступления аэрозолей в атмосферу и играют ключевую роль в радиационном балансе системы Земля-атмосфера. В работе представлены результаты четырехгодичных измерений концентраций органического (OC) и элементарного (EC) углерода, полученные на Сибирской фоновой станции атмосферного мониторинга ZOTTO (61 N; 89 E) в п. Зотино Красноярского края. Для анализа были использованы фильтровые аэрозольные пробы, отобранные на станции в период с апреля 2010 по июнь 2014 года. Органический, элементарный и общий (TC = EC+OC) углерод были определены с помощью коммерческого термооптического газового анализатора (Sunset Laboratory Inc., Oregon).

Проанализирован сезонный ход элементарного углерода, который является индикатором атмосферных антропогенных загрязнений. Для выявления фоновых значений концентрации элементарного углерода был использован робастный алгоритм статистического оценивания. Показано, что фоновая сезонная зависимость имеет синусоидальный характер, минимумы которого приходятся на летний период, а максимумы на зимний. С помощью анализа обратных траекторий модели HYSPLIT продемонстрировано, что периоды загрязнений с повышенной концентрацией элементарного углерода (в 5–10 раз больше фоновых значений) связаны с переносом углеродсодержащих аэрозолей от мощных локальных источников, таких как региональные лесные пожары и палы сельскохозяйственных угодий в степной зоне Западной Сибири на границе российско-казахстанского сектора (апрель 2010, 2011, лето 2012, 2013) или с промышленными выбросами предприятий юга Сибири (октябрь 2010, 2011, 2012, декабрь 2014). Периодам с высокой концентрацией элементарного углерода соответствуют ветры южного и юго-западного направлений, в то время как перенос воздушных масс с севера совпадает с низким, фоновым уровнем концентраций аэрозоля. Проанализирован сезонный ход органического углерода. Установлено, что в летний сезон вариации фоновых концентраций органического углерода тесно коррелировали с температурой воздуха, что указывает на преимущественно биогенные источники образования органической фракции частиц.

Работа выполнена при поддержке НИР СПбГУ 11.38.650.2013 и с использованием аппаратуры ресурсных центров СПбГУ «Геомодель» и «Методы исследования состава вещества».

The study of seasonal variability of atmospheric aerosols in Central Siberia

S.Yu. Mironova (s.mironova@spbu.ru), S.S. Vlasenko, T.I. Ryshkevich, V.A. Shayer, E.F. Mikhailov

Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

Seasonal variability of carbonaceous atmospheric aerosols in Central Siberia Atmospheric aerosols of Siberia has a significant impact on climate of Eurasia. Wildfires and biogenic processes are powerful sources of aerosols in the atmosphere and play a key role in the radiation balance of the Earth-atmosphere system. This study presents the results of measurements of the concentrations of organic (OC) and elemental (EC) carbon, obtained in the Siberian background atmospheric monitoring station ZOTTO (61ºN; 89ºE). Filter aerosol samples collected at the station during the period from April 2010 to June 2014 were used for analysis. The commercial thermo-optical gas

analyzer (Sunset Laboratory Inc., Oregon) was used for studying an organic, elemental and total carbon (TC = OC + EC) content in aerosols samples.

The robust statistical estimation algorithm was used to identify the background concentrations of elemental carbon. It has been shown that the background seasonal dependence has a sinusoidal behavior with the minimum in summer and the maximum in winter time. The trajectory analysis of air masses (HYSPLIT model) has shown that polluted periods are connected with the transfer of carbonaceous aerosols from powerful local sources, such as regional forest fires and burns agricultural land in the steppe zone of Western Siberia on the border of the Russian-Kazakh sector (April 2010, 2011, Summer 2012, 2013) or an industrial emissions from southern Siberia enterprises (October 2010, 2011, 2012, December 2014). The seasonal variations of organic carbon concentration were analyzed. It was founded that summer variations are closely correlated with air temperature, indicating a predominantly biogenic sources of the organic fraction of aerosol particles.

This work has been supported by the Saint-Petersburg State University (grant 11.38.650.2013). We thank the Research Centers “Geomodel” and “Methods of Analysis of the Matter Composition”.

Быстропеременные вариации массовой концентрации и параметра Хенела приземного аэрозоля

Исаков А.А. (A.A.Isakov@mail.ru), Тихонов А.В.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

Предлагаемая работа представляет собой анализ быстрых синхронных вариаций массовой концентрации приземного субмикронного аэрозоля M и его конденсационной активности . Данные получались с помощью автоматизированного поляризационного нефелометра, описанного, например, в [1]. В режиме спектрополяриметра полный цикл прибора составлял около 13 минут, поэтому для исследования быстрых, порядка нескольких минут, процессов, измерения проводились на фиксированной длине волны 0.54 мкм. Под конденсационной активностью мы понимаем оптический отклик аэрозоля на нагрев с помощью низкотемпературного нагревателя, обработанный по формуле Хенела:

$D(R) = D(R = 0) \text{ x } (1–R)^{-}$,

здесь D – коэффициент направленного светорассеяния, R – относительная влажность воздуха. Величина D измерялась линейной интерполяцией по двум точкам – для аэрозоля in situ и при нагреве на 10–15 градусов. Измерения выполнялись летом 2012года в утренние часы (8–12 час).

Как показали измерения, именно утром в летнее время изменения величин происходят наиболее быстро и составляют до двух раз, причем относительная влажность при этом может оставаться постоянной, а вертикальные потоки воздуха, обеспечивающие конвективный вынос аэрозоля из приземного слоя практически отсутствуют. Сразу же подчеркнем, что выводы относятся к вариациям аэрозоля в утренние часы лета 2012 года. Для июня–июля неожиданными оказались высокие значения конденсационной активности – 0.5–0.7, иногда до 0.9. В части случаев и величина M и в течение двух-трех дней демонстрировали нейтральный ход, но часто наблюдалось их быстрое синхронное уменьшение (около 20% случаев), достигавшее примерно 3 дб (полтора раза). Реже (в единичных случаях) наблюдался синхронный рост примерно настолько же. Подчеркнем, что при проведении измерений не происходило смены воздушных масс, то-есть быстрые вариации параметров вполне возможны в одной воздушной массе.

1. Исаков А.А, Аникин П.П., Елохов А.С., Курбатов Г.А. О характеристиках дымов лесных пожаров в Центральной России летом 2010года // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 6. С. 478–482.

Quick frequency variations of the mass concentration and Henel parameter of surface aerosol

Isakov A.A. (A.A.Isakov@mail.ru), Tikhonov A.V.
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky 3, 119017 Moscow, Russia

The proposed paper presents an analysis of fast synchronous variations of the mass concentration of the surface submicron aerosol *M* and its condensation activity . Data were obtained using an automated polarization nephelometer described, for example, in [1]. Mode spectropolarimeter full cycle of the device was about 13 minutes, so for the study of fast, of the order of several minutes, processes, measurements were performed at a fixed wavelength of 0.54 m. Under the condensing activity we understand the optical response of aerosol on heating with low temperature heater, processed by the Hänel parameter formula:

$D(R) = D(R = 0)\text{x}(1–R)^{-}$,

here *D* is the coefficient of the directional light scattering, *R* is the relative humidity. The *D* value was measured by a linear interpolation using two points – for aerosol in situ and during heating by 10–15 degrees. Measurements were performed in the summer of 2012 in the morning hours.

As measurements have shown, in the morning in summer, the value changes occur most rapidly and up to two times, and relative humidity can be kept constant, and the vertical flow of air providing convective removal of the aerosol from the surface layer is practically absent. As they showed, that in the morning in summer, the value changes occur most rapidly and up to two times, and relative humidity can be kept constant, and the vertical flow of air providing convective removal of the aerosol from the surface layer is practically absent. Immediately we emphasize that the findings relate to variations of the aerosol in the morning hours of the summer of 2012. For June–July high values of the condensation activity of 0.5–0.7, sometimes up to 0.9 were unexpected. In some cases, the values of *M* and in the next two to three days demonstrated a neutral move, but often their rapid simultaneous decrease (about 20% of cases), reaching approximately 3dB (half) was observed. Rarely (in a few cases) a simultaneous increase in the same proportion was shown. We emphasize that during the measurements there was no a change of air masses, i.e., rapid variations in the parameters is possible in one air mass.

1. Isakov A. A., p. P. Anikin, Elokhov A. S., Kurbatov, G. A. On the characteristics of the smokes from forest fires in Central Russia in summer 2010 // Opt. Atm. Ocean. 2011. Vol. 24. № 6. P. 478–482 (in Russian).

Вычисление параметра гигроскопичности атмосферного аэрозоля по данным счетчика ядер конденсации **CCNC-100**

Иванова О.А. (junga2007@mail.ru), Небосько Е.Ю., Власенко С.С., Михайлов Е.Ф.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Способность аэрозольных частиц выступать в качестве ядер конденсации является одним из ключевых факторов, определяющих климатический эффект аэрозолей. Определяющую роль в формировании облаков играют аэрозольные частицы, выступающие в роли облачных ядер конденсации (Cloud Condensation Nuclei, CCN). Увеличение концентрации облачных ядер нуклеации за счёт антропогенных и естественных источников приводит к увеличению концентрации и уменьшению размера капель в облаках, что, в свою очередь, приводит к изменению времени жизни и радиационных свойств облаков. Конденсационные свойства аэрозольных частиц зависят от их размера, структуры и химического состава. В настоящее время для характеристики гигроскопических и конденсационных свойств атмосферных многокомпонентных аэрозолей широко используется параметр гигроскопичности [1].

В данной работе измерение критического пересыщения для атмосферных аэрозолей в зависимости от размера частиц проводилось с помощью двух приборов: счетчика ядер конденсации (CCNC-100, DMT) и сканирующего анализатора подвижности частиц (SMPS 3936, TSI Inc.). Измерения были выполнены в СПбГУ (Ст. Петергоф) в марте–апреле 2014 г. и на фоновой станции ZOTTO (Красноярский край) в июле 2014 г. По данным измерений был рассчитан параметр гигроскопичности κ [1, 2]. В период наблюдений этот параметр варьировал в пределах от 0.1 до 0.9, что связано с изменением химического состава аэрозолей.

Работа выполнена при поддержке НИР СПбГУ 11.38.650.2013 и ресурсного центра СПбГУ «Геомодель».

1. Petters, M. D. and Kreidenweis, S. M. A single parameter representation of hygroscopic growth and cloud condensation nucleus activity // *Atmos. Chem. Phys.* 2007. V. 7. P. 1961–1971.
2. Cerully K.M., T. Raatikainen, S. Lance et al. Aerosol hygroscopicity and CCN activation kinetics in a boreal forest environment during the 2007 EUCAARI campaign received // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. V. 11. P. 12369–12386.

Computation of the hygroscopicity parameter of atmospheric aerosol from the cloud condensation nuclei counter data (CCNC-100)

O.A. Ivanova (junga2007@mail.ru), E.Yu. Nebosko, S.S. Vlasenko, E.F. Mikhailov
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

The study of the aerosol particles ability to act as cloud condensation nuclei (CCN) is one of the key objectives of the aerosol climatology, which describes the climatic effect of aerosols. Fine aerosol particles play a crucial role in the formation of clouds. The growth of CCN concentration due to anthropogenic and natural sources leads to increasing the concentration of cloud droplets and decreasing their size that in turn changes clouds lifetime and radiative properties. The CCN properties of aerosol particles depend on their size, structure and chemical composition. At the present time a hygroscopicity parameter is widely used to describe a hygroscopic and CCN behavior of multi-component ambient aerosols [1].

A tandem of Cloud Condensation Nuclei Counter (CCNC-100, DMT) and Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS 3936, TSI Inc) was used to measure critical supersaturation for ambient aerosol as function of particles diameter. The measurements were performed in Saint-Petersburg State University (Petergof) during March–April 2014 and at Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO), (Krasnoyarsky region) during July 2014. The hygroscopicity parameter [1, 2] was computed from the measurement data. This parameter reveals variability and are within 0.1–0.9 range because of aerosol chemical composition changes.

This work has been supported by the Saint-Petersburg State University (grant 11.38.650.2013). We thank the “Geomodel” Research Center at the Saint-Petersburg State University.

1. Petters, M. D. and Kreidenweis, S. M. A single parameter representation of hygroscopic growth and cloud condensation nucleus activity // *Atmos. Chem. Phys.* 2007. V. 7. P. 1961–1971.
2. Cerully K.M., T. Raatikainen, S. Lance et al. Aerosol hygroscopicity and CCN activation kinetics in a boreal forest environment during the 2007 EUCAARI campaign received // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. V. 11. P. 12369–12386.

Простые оптические и радиационные модели атмосферы

Мельникова И.Н.[1] (irina.melnikova@pobox.spbu.ru), Гинзбург А.С.[2], Фролькис В.А.[3]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. *7/9*, Санкт-Петербург, Россия
[2]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия
[3]Петербургский государственный университет путей сообщения, Московский пр. *9, 190031* Санкт-Петербург, Россия

В последние десятилетия было разработано множество сложных оптических и радиационных моделей атмосферы. Эти модели детально учитывают вертикальные профили поглощения и рассеяния в широких диапазонах длин волн от УФ до ИК, различные типы аэрозолей и облачности. При этом применяются сложные численные алгоритмы расчета и самая современная вычислительная техника. Построены многочисленные и разнообразные компьютерные коды, включающие табличное задание характеристик атмосферного аэрозоля, состояние атмосферы и сложные схемы расчета оптических параметров и радиационных характеристик атмосферы для разных широтных континентальных и морских зон и разных сезонов для решения прикладных задач.

Однако, в исследовательских задачах часто необходимо анализировать влияние изменения отдельных составляющих атмосферы на радиационные характеристики атмосферы и климата, отвлекаясь от вариаций всей сложной совокупности оптических факторов и отфильтровывая шум, присущий сложной модели. В таких случаях простые модели однородной (для безоблачной атмосферы) или двух или трехслойной атмосферы (для учета горизонтально-однородной облачности) дают возможность оперативно варьировать исследуемые параметры атмосферы, получать результаты, сравнимые по точности с результатами сложных моделей, и эффективно выявлять взаимосвязи и взаимодействия ключевых параметров и характеристик атмосферы и солнечной радиации. Для расчета потоков и притоков радиации и радиационного форсинга вполне приемлемую точность обеспечивают приближенные двухпотоковые методы теории переноса и для облачной атмосферы асимптотические формулы теории переноса, которые позволяют получить решения с минимальными временными и компьютерными затратами.

В докладе представлены модели безоблачной и облачной атмосферы для 4-х вариантов содержания аэрозолей и значения полусферических потоков и лучистых притоков радиации. Приведено сравнение с экспериментальными значениями.

Авторы выражают благодарность за поддержку работы: Государственный контракт № 16.740.11.0619 от 31 мая 2011 г. «Разработка методов исследования физических процессов формирования загрязнения атмосферы дымами и смогом»; Соглашение № 14.B37.21.1528 от 01.10.2012 г. «Моделирование процессов формирования и динамики полей атмосферного аэрозоля, образовавшихся в результате лесных пожаров, для оперативного прогнозирования состояния атмосферы и изучения регионального климата»; Соглашение №14.574.21.0088 от 16.07.2014 г. (тема: "Проведение прикладных научных исследований по разработке автоматизированной информационной системы мониторинга и прогноза баланса ливневых стоков для городских систем

водоотведения") в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57414X0088).

Simple optical and radiative atmospheric models

Irina Melnikova[1] (irina.melnikova@pobox.spbu.ru), Alexander Ginzburg[2], Victor Frolkis[3]
[1]*Saint-Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7/9, Saint-Petersburg, Russia*
[2]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*
3Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky pr., 190031 Saint-Petersburg, Russia

In recent decades, a lot of complex atmospheric models with detailed vertical profiles of the layers, the account of the various forms of heterogeneous clouds in a broad range of wavelengths from UV to IR were developed on the base of the power computer technology. Intricate numerical algorithms are applied for calculating the radiation characteristics with minimal errors. Related computer codes have been created with including look-up-table characteristics of atmospheric aerosol, the state of the atmosphere and sophisticated schemes of the calculation of the atmosphere optical parameters and radiation characteristics for set of latitudinal continental and maritime zones and different seasons for solution of applied problems.

However, in research tasks, it is often necessary to analyze the impact of changes in atmospheric individual factors on the radiative characteristics of the atmosphere and climate, detracting from the variations of the whole complex set of optical parameters and filtering out the noise inherent in complex models. In such cases, a simple model of a homogeneous (for cloudless atmosphere) or two-three-layer atmosphere (for accounting horizontally homogeneous clouds) gives an opportunity for the variation of studied parameters of the atmosphere. Received results are often sufficiently fair picture and effectively identify interactions of key parameters and characteristics of the atmosphere and the solar radiation. The approximate Eddington method and in the case of a cloudy atmosphere asymptotic formulas of the transfer theory provide a reasonably acceptable accuracy in calculating the irradiance, forcing, and radiative divergence, representing a special interest in the study of radiation regime of the atmosphere, and allow to obtain solutions with minimal time and computer costs.

The report presents the simulation of cloudless and cloudy atmosphere for 4 variants of the aerosols content and also values of hemispherical fluxes, and radiative divergences of radiation that are compared with experimental magnitudes.

The authors are grateful for the support of work: State contract number 16.740.11.0619 of 31.05.2011 “Development of methods for studying the physical processes of the formation of atmospheric pollution by smoke and smog"; Agreement No. 14.B37.21.1528 from 01.10.2012 "Modeling of the formation and dynamics fields of atmospheric aerosol, formed as a result of forest fires, for operational forecasting of the atmosphere and study of regional climate"; Agreement No. 14.574.21.0088 from the 16.07.2014 (topic: Conducting applied research on the development of an automated information system for monitoring and forecasting the balance for urban storm water drainage systems") in the framework of realization of the Federal target program "Research and development on priority directions of development of scientific-technological complex of Russia for 2014 - 2020" (a Unique identifier for applied scientific research (project) RFMEFI57414X0088).

European column transparency, 1906-2014

H. Ohvril[1] (hanno.ohvril@ut.ee), L. Neiman[1], M. Kannel[1], K. Kattai[1], H. Keernik[1], M. Tee[1], V. Russak[2], O. Okulov[3], A. Jõeveer[3], A. Kallis[3], T. Ohvril[4], E. Terez[5], G. Terez[5], G. Gushchin[6], G. Abakumova[7], E. Gorbarenko[7], N. Laulainen[8]

[1]*University of Tartu, 18 Ülikooli, 50090 Tartu, Estonia*
[2]*Tartu Observatory, 61602 Tõravere, Estonia*
[3]*Estonian Environment Agency (formerly EMHI), 33 Mustamäe tee, 10616 Tallinn, Estonia*
[4]*Estonian University of Life Sciences, 1 Kreutzwaldi, 51014 Tartu, Estonia*
[5]*Crimea Federal University, 95007 Simferopol, Crimea, Russia*
[6]*Karadag Geophysical Research Observatory, 98188 Feodosiya, Crimea, Russian Federation*
[7]*Lomonosov Moscow State University, 119992 Moscow, Russia*
[8]*Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, USA*

Multiannual changes in the atmospheric column transparency based on measurements of direct solar radiation allow us to assess the aerosol load, formation of surface radiation regime and conditions for remote sensing.

In this work, the main parameter is the integral (broadband, panchromatic) transparency coefficient (p_2) transformed to a solar elevation 30 . This coefficient enables easy calculation of several other broadband parameters of the column transparency and turbidity as well as the transition to spectral Aerosol Optical Thickness, AOT500 or AOT550. We present multiannual time series of p_2 for six different European locations:

1. Pavlovsk, 1906 1936.
2. Karadag, Crimea, 1934 2014.
3. Tartu-Tõravere, Estonia, 1932 1940, 1950 2014.
4. Voeikovo, 1949 1960.
5. Moscow, 1955 2014.
6. Tiirikoja, Estonia, 1956 2014.

Listed time series of annual means, covering together a 109-year period, 1906–2014, have in general a similar pattern, which to some degree can be extended to the entire European latitudinal belt, 44 –60 N.

The highest annual mean belongs to the northernmost location Pavlovsk where p_2 = 0.813 in 1909. But other years with high transparency were also in Pavlovsk: during the 31-year observational period the annual mean p_2 = 0.8 was reached in six years. We consider this level as a value of 'very good transparency', corresponding to a year with particularly clean air in the Gulf of Finland area. Because of being in almost the same climatic zone as Pavlovsk, Voeikovo and the Estonian stations also reached the level of p_2 = 0.8. For Moscow and Feodosiya, as representative of more southerly locations, a rate of excellent annual transparency is lower, p_2 = 0.75.

At all considered locations, the decrease of annual means of column transparency is mainly caused by three factors:

1. Strong volcanic eruptions, which can be detected, by pyrheliometer or actinometer, up to 24 months after the eruption. The lowest annual value for considered stations, p_2 = 0.632 in 1912, belongs to Pavlovsk and was caused by the eruption of the Katmai/Novarupta (Alaska) volcano in the same year. The Pinatubo (1991) impact was slightly less: in 1992 annual mean coefficient of transparency temporarily decreased at two Estonian locations to p_2 = 0.68 0.69 and in the Crimea and Moscow to p_2 = 0.65 0.66.

2. Aerosol emissions from burning of fuels and aggressive tillage which cause the multiannual smooth decrease in transparency a "global dimming"; for Estonian stations and Moscow a decline started at least from the beginning of 1960s and lasted until 1983/1984. In the Crimea the decrease started already from 1945 and can be related, besides volcanic activity, to a rapid increase of industrial and agricultural activities round the Black Sea, as well as shipping. Concerning the USA, a multiannual degradation in column transparency apparently began even earlier, from the end of the 1930s, perhaps not only due to industrial but also severe agricultural pollution as a result of overexploited land and devastating droughts (the "Dust Bowl").

3. Smoke from seasonal forest and bog fires, which can be local, but also can arrive, by atmospheric circulation, from distances exceeding 1000 km. With help of jet streams the smoke can even be transported intercontinentally. In the Eastern Europe the heaviest wildfires took place in 1972, 2002 and 2010.

Contrarily, from 1984/1985 the trends changed their sign from negative to positive and during the next years column transparencies rapidly recovered. The transition from decreasing to increasing transparency was again in line with the increase of global solar radiation, i.e. with 'global brightening' from 1985 onward.

Concerning future extension of presented impressive time series of column transparency, we are very troubled about information from Crimea. For economic reasons, the work of the Karadag Meteorological Observatory will be reorganized. Most likely direct solar beam will not be measured there anymore. A 81-year (1934-2014, including the World War II) time series will be interrupted. During the last decades the measurements were guided by Gennady K. Gushchin, Cand. Geogr. Sc.

Our research has been supported by a project "Estonian radiation climate" funded by European Regional Development Fund (ERDF).

Роль адвективных потоков тепла в изменчивости температуры Западной Сибири

Логинов С.В. (LogSV13@imces.ru), Харюткина Е.В.
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр.,*10/3, 634055* Томск, Россия

Рассчитаны адвективные потоки тепла, приходящие на территорию Западной Сибири (50°–70° с.ш., 60°–90° в.д.) в течение зимнего периода. В расчетах оценивались суммарные потоки через западную, северную, восточную и южную границы в столбе тропосферы от поверхности земли до уровня 300 гПа. Для поверхностного слоя проведено сравнение оценок, полученных по данным реанализа JRA55 и данных проекта CERES.

Временная изменчивость температуры показывает, что в конце XX и начале XXI веков величина уменьшилась примерно на 0.6° С. В этот же период произошло уменьшение величины притока тепла с $1.1 \cdot 10^{14}$ Вт до $7.9 \cdot 10^{13}$ Вт, что эквивалентно уменьшению величины на 5.8° С, то есть, помимо адвективных процессов, на изменение оказывают влияние и другие факторы. При этом поток тепла через южную границу уменьшился, а заток холодных воздушных масс увеличился. Показано, что, начиная с 2002 года, заток через северную границу Западной Сибири увеличился. При этом для территории Западной Сибири, в целом, в период 2002–2011 гг. характерно увеличение связи между и адвективным переносом холодных воздушных масс ($r = -0.52$). По результатам анализа изменчивости температуры, адвективного потока тепла, показано, что значительный вклад в изменение температуры в последнее десятилетие вносят изменения адвекции тепла.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН VIII.77.1

Influence of advective heat fluxes on temperature variability in West Siberia

S.V. Loginov (LogSV13@imces.ru), E.V. Kharyutkina
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academichesky ave., 634055 Tomsk, Russia

The estimations of advective heat flows, coming to the territory of West Siberia (50°–70° N, 60°–90° E) during winter season, were derived. Total flows through north, south, west and east boundaries were calculated for the whole atmospheric column from the surface to the level of 300 hPa. The comparative analysis of estimations, obtained using reanalysis data JRA-55 and CERES project data was carried out.

According to temporal temperature variability in the troposphere, its value decreased down to 0.6° C in the end of XX and in the beginning of XXI century. At the same time, the heat inflow decrease was observed: from $1.1 \cdot 10^{14}$ W to $7.9 \cdot 10^{13}$ W. It is equal to 5.8° C temperature decrease, so, besides advective processes, temperature changes were also influenced by other factors. Furthermore, the heat inflow decreased through south boundary, whereas the cold inflow increased. It was shown that the inflow through north boundary increased since 2002. The relationship between the temperature of troposphere and advective flows of cold air masses was found during the period of 2002–2011 for the territory of West Siberia ($r = -0.52$). Thus, significant contribution to the temperature variability in West Siberia during last decade belongs to heat flow changes.

The study was supported by the Program of SB RAS VIII.77.1.

Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля во время дымной мглы в Сибири летом **2012** г.

Насртдинов И.М. (wizard@iao.ru), Бедарева Т.В., Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, *634021* Томск, Россия

Летом 2012 г. на территории Сибири наблюдались обширные лесные пожары, которые привели к значительному замутнению атмосферы с образованием дымной мглы. В данной работе обсуждаются оптические и микрофизические характеристики дымового аэрозоля, полученные по данным наземних наблюдений вблизи Томска (обсерватория «Фоновая») с использованием солнечного фотометра CE 318 (AERONET; http://aeronet.gsfc.nasa.gov): аэрозольная оптическая толща (АОТ) и влагосодержание атмосферы (*W*), альбедо однократного рассеяния (АОР) и фактор асимметрии (ФА) индикатрисы рассеяния аэрозоля, распределение частиц по размерам и комплексный показатель преломления (КПП). Эти характеристики (кроме АОТ и *W*) восстанавливались в диапазоне 440–1020 нм по результатам измерений прямой и рассеянной радиации в альмукантарате Солнца с использованием алгоритма Дубовика-Кинга [1] и развитого при нашем участии алгоритма [2].

Согласно полученным данным, дымовые замутнения атмосферы наблюдались с 15 июня по 10 августа. Самые высокие значения АОТ были зарегистрированы в начале и конце июля: например, на длине волны 500 нм АОТ составляла не менее 3–5. Особенности спектральной изменчивости АОТ рассматривались нами ранее [3]. В данной работе основное внимание уделено анализу АОР, ФА, КПП и сопоставлению с аналогичными данными в дымовых ситуациях, полученных в 2003–2011 и 2013 гг. при значениях АОТ(440 нм) > 0.4. Последние ситуации идентифицировались как дымовые согласно методике [4] и, в основном, соответствовали дымовым шлейфам от удаленных источников («ординарные» дымы). Количество анализируемых характеристик (АОР и КПП) составило 65 случаев в 2012 г. и 140 случаев в остальные периоды наблюдений.

В большинстве ситуаций, наблюдаемых в течение 2012 г., альбедо однократного рассеяния слабо убывало с ростом длины волны λ: АОР(440 нм) варьировалось в диапазоне 0.926–0.996 и при дальнейшем увеличении λ значения АОР уменьшались в пределах ~ 0.03. В отдельных случаях высоких замутнений (АОТ(440 нм) > 1.3) наблюдался противоположный спектральный ход АОР. Возможной причиной изменения характера спектральной зависимости альбедо однократного рассеяния является увеличение доли органического углерода в составе дымового аэрозоля. В среднем спектральные значения АОР были достаточно высокими и практически не изменялись с ростом λ: АОР ~ 0.96. В отличие от дымной мглы 2012 г., средние значения АОР в дымовых ситуациях, полученные по данным многолетних измерений, оказались ниже (АОР(440 нм) ~ 0.92) и монотонно убывали с ростом длины волны. Такое отличие АОР было обусловлено величиной мнимой части КПП, которая была примерно в два раза меньше по сравнению с «ординарными» дымами. Гораздо в меньшей степени различаются средние значения фактора асимметрии

индикатрисы рассеяния излучения, восстановленные по данным наблюдений в 2012 г. и остальных дымовых ситуациях.

В числе других характеристик дымового аэрозоля рассматриваются также АОТ поглощения и соответствующий ей показатель Ангстрема в интервале 440–870 нм. Показано, что в период дымовой мглы 2012 г. аэрозольная толща поглощения была в 1.5–2 раза меньше по сравнению с данными многолетних наблюдений. Значения показателя Ангстрема для этих двух периодов также отличались между собой и составили 1.16–2.04 и 0.7–1.7 соответственно.

Исследования выполнялись при финансовой поддержке проекта №25 партнерских фундаментальних исследований СО РАН.

1. Dubovik O.T., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // *J. Geophys. Res.* 2000. V. 105. № D16. P. 20673–20696.
2. Bedareva T.V., Sviridenkov M.A., Zhuravleva T.B. Retrieval of aerosol optical and microphysical characteristics according to data of ground-based spectral measurements of direct and scattered solar radiation. Part 1. Testing of Algorithm // *Atmos. Ocean. Opt.* 2013. V. 26. P. 24–34.
3. Sakerin, S.M., Bedareva T.V., Zhuravleva T.B. et al. Aerosol Radiative Characteristics During Smoke Mist in Siberia // Aerosol Radiative Characteristics During Smoke Mist in Siberia // *Proc. of ISARD-2013*. Saint-Petersburg. 2013. P. 67.
4. Kabanov D.M., Sakerin S.M. Variations of the characteristics of the aerosol optical depth under conditions of forest fires // *Proc. of SPIE*. 2006. V. 6522. 65221J-1 – 65221J-6.

Aerosol optical and microphysical characteristics during smoke haze in Siberia in summer of 2012

I.M. Nasrtdinov (wizard@iao.ru), T.V. Bedareva, T.B. Zhuravleva, D.M. Kabanov, S.M. Sakerin

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia

Extensive forest fires that occurred in the summer of 2012 in Siberia led to a significant turbidity of the atmosphere and the formation of a smoke haze. In this paper we discuss the optical and microphysical characteristics of the biomass burning aerosol obtained from ground-based observations near Tomsk (Observatory "Background") using the Sun-sky photometer CE 318 (AERONET; http://aeronet.gsfc.nasa.gov): aerosol optical depth (AOD) and moisture content of the atmosphere (*W*), single scattering albedo (SSA) and asymmetry factor (AF) of scattering phase function, particle size distribution and complex refractive index (CRI). These characteristics (except AOT and *W*) were retrieved from measurements of direct and diffuse radiation in the solar almucantar in the range of 440–1020 nm using Dubovik and King algorithm [1] and an algorithm [2] that was developed with our participation.

The data obtained indicate that smoke situations spanned the period from June 15 to August 10. The highest smoke loadings were registered at the beginning and the end of July: for example, AOD at a wavelength of 500 nm was larger than 3–5. Features of the spectral variability of AOT were considered earlier [3]. This paper focuses on the analysis of the SSA, AF, CRI and their comparison with similar data in the smoky situations received in 2003–2011 and 2013 for values of AOT (440 nm) > 0.4. The last cases were identified as the biomass burning aerosol in accordance with the procedure [4], and in most cases corresponded to smoke plumes from distant sources («ordinary» smokes). The number of retrieved SSA and CRI was equal to 65 cases in 2012 and 140 cases in the other observation period.

In most cases, observed in 2012, SSA (440 nm) was varied in the range of 0.926–0.996 and with further increase in the wavelength until 1020 nm the single scattering albedo slightly reduced (within 0.03). In some cases of high turbidity (AOD(440 nm) > 1.3) the opposite spectral behavior of SSA was observed. A possible reason for changing the nature of the spectral dependence of the single scattering albedo is the growth of the proportion of organic carbon in the composition of the smoke aerosol. The averaged spectral values SSA were high enough and virtually unchanged with increasing λ: SSA ~ 0.96. In contrast to the smoky haze 2012, the averaged values of SSA, obtained from data of long-term measurements were lower (SSA (440 nm) = 0.92) and decreased

monotonically with wavelength increasing. This difference was due to the value of the imaginary part of the CRI, which was about two times lower compared with the «ordinary» smokes. The mean spectral values of AF retrieved from measurements in 2012 and long-term observations differ much smaller.

Among other characteristics of the biomass burning aerosol we considered the aerosol absorption optical depth (AAOD) and the absorption Angström exponent computed for spectral interval 440–870 nm. It was shown that during smoke mist AAOD was 1.5–2 times lower compared to long-term observations. The absorption Angstrom exponent values for two periods also differed and were equal to 1.16–2.04 and 0.7–1.7 respectively.

This work was supported by collaborative project of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences no 25.

1. Dubovik O.T., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // *J. Geophys. Res.* 2000. V. 105. № D16. P. 20673–20696.
2. Bedareva T.V., Sviridenkov M.A., Zhuravleva T.B. Retrieval of aerosol optical and microphysical characteristics according to data of ground-based spectral measurements of direct and scattered solar radiation. Part 1. Testing of Algorithm // *Atmos. Ocean. Opt.* 2013. V. 26. P. 24–34.
3. Sakerin, S.M., Bedareva T.V., Zhuravleva T.B. et al. Aerosol Radiative Characteristics During Smoke Mist in Siberia // Aerosol Radiative Characteristics During Smoke Mist in Siberia // *Proc. of ISARD-2013*. Saint-Petersburg. 2013. P. 67.
4. Kabanov D.M., Sakerin S.M. Variations of the characteristics of the aerosol optical depth under conditions of forest fires // *Proc. of SPIE*. 2006. V. 6522. 65221J-1 – 65221J-6.

Изменение климата, составляющих теплового баланса и атмосферной циркуляции на территории Западной Сибири в последние десятилетия

Харюткина Е.В. (kh_ev@mail2000.ru), Логинов С.В.
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр. *10/3, 634055* Томск, Россия

В работе рассмотрены особенности изменчивости температуры воздуха и атмосферного давления и их тенденции на территории Западной Сибири в период 1976–2014 гг. Проводилось сравнение полученных оценок среднемесячных и среднесезонных величин температуры и давления за два интервала времени: 1976–2005 гг. и 1985–2014 гг. Выявлено, что, в целом, начало XXI века характеризуется замедлением темпов потепления, а в зимние месяцы уменьшение температуры приземного воздуха сопровождается тенденцией роста давления. С помощью построенных регрессионных моделей получено, что доминирующая роль в изменчивости исследуемых метеорологических параметров принадлежит радиационным факторам (составляющие теплового баланса). Показано, что в зимние месяцы возросло влияние циркуляционных факторов (индексы SCAND и AO) в период 1985–2014 гг.

Для вычисления полей температуры и давления на территории Западной Сибири использовались данные ежесуточных наблюдений на 169 метеорологических станциях. Анализ и сравнение полученных оценок пространственно-временной изменчивости составляющих теплового баланса на земной поверхности проводились с использованием данных реанализа JRA-55 и спутниковых данных из проекта CERES.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-5969.2015.5.

Climatic changes in the components of heat balance and atmospheric circulation over the territory of West Siberia during last decades

E.V. Kharyutkina (kh_ev@mail2000.ru), S.V. Loginov
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academichesky ave., 634055 Tomsk, Russia

The features of surface air temperature and atmospheric pressure variability and their tendencies were investigated for the territory of West Siberia over the period of 1976–2014. The comparative analysis of derived average monthly and average seasonally estimations of temperature and pressure over two time intervals (1976–2005 and 1985–2014) was carried out. It was revealed that, in general, the beginning of XX century is characterized by decelerating the warming rates, and in winter season the temperature decrease is accompanied with the tendency of pressure rise. According to constructed regression models, the dominating role in the variability of understudied parameters belongs to radiative factors (i.e. components of heat balance). However, in winter season during 1985–2014 the increased influence of circulation factors (AO and SCAND) was observed.

To calculate temperature and pressure fields over West Siberia daily observational data at 169 meteorological stations were used. The analysis and comparison of derived estimations of spatio-temporal variability in the components of heat balance at the surface was carried out using JRA-55 reanalysis data and satellite data from the CERES project.

The work has been supported by the grant of the RF President МК-5969.2015.5.

Оценка возможности прогноза естественной освещенности в Москве на основе модели **COSMO-Ru1**

Шатунова М.В.[1] (gbert@yandex.ru), Шиловцева О.А.[2] (shil_o@mail.ru)
[1]Гидрометцентр России, Б. Предтеченский пер. *11-13,123242* Москва, Россия
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия

На основании прогноза облачности и суммарной радиации, полученного по модели COSMO для точки, наиболее приближенной к расположению метеорологической обсерватории МГУ, проведена оценка возможности прогноза естественного освещения. Рассмотрены разные погодные условия в течение 2014 года – ясно, пасмурно, переменная облачность разных ярусов, выпадение осадков, перемена состояния подстилающей поверхности (снег, трава). Для расчета уровней освещения были использованы прогностические данные суммарной радиации и световые эквиваленты солнечной радиации. Последние рассчитывались по эмпирической модели естественной освещенности, которая создана в метеорологической обсерватории МГУ на основании полувекового мониторинга этого параметра.

Опробовано несколько методик расчета освещенности по прогностическим величинам солнечной радиации. Прогнозные значения освещённости сопоставлялись с данными наблюдений. Последние проводились с помощью прибора LI-210 Photometric Sensor американской фирмы LI-COR, используемого в качестве датчика естественной освещенности горизонтальной поверхности в обсерватории с 2010 г. Показано, что удовлетворительное качество прогноза достигается при использовании среднего значения светового эквивалента без учёта влияния на него разных факторов (высоты солнца, типа облачности и др.). Выполнена оценка возможности прогнозирования резких изменений освещенности в течение дня в зависимости от локальных изменений погоды, например, прохождения кучево-дождевого облака. В целом можно сделать вывод о том, что залог успешного прогноза естественной освещенности – качественное воспроизведение моделью COSMO суточного хода солнечной радиации и облачности.

Evaluation of the natural illuminance prediction possibility in Moscow based on the model COSMO-RU1

M.V. Shatunova[1] (gbert@yandex.ru), O.A. Shilovtseva[2] (shil_o@mail.ru)
[1]*Hydrometeorological Centre of Russia, 11-13 B. Predtechensky per., 123242 Moscow,* Кгыышф *tel.:*
[2]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia*

Based on the forecast of cloudiness and total radiation received by COSMO model for the point closest to the location of the Meteorological Observatory of Moscow State University, the evaluation of the possibility of the natural lighting forecast was done. Different weather conditions during 2014 – clear, cloudy, partly cloudy, precipitation, various state of the underlying surface (snow, grass) – were examined. To calculate the level of day lighting the predicted data of total radiation and the light equivalents were used. The latest ones were calculated according to the empirical natural illuminance model, which was developed in the Meteorological Observatory of Moscow State University based on long-term monitoring of this parameter.

Several methods for illuminance calculating according to the prognostic values of solar radiation were tested. The predictive values were compared with observational data. The latest ones were made by LI-210 Photometric Sensor by American company LI-COR. They are used as a sensor of natural illuminance of horizontal surface at the observatory since 2010. It is shown that a satisfactory quality of the forecast is achieved by using the average value of the light equivalent, excluding the impact on it of various factors (such as sun elevation, cloud cover, etc.). The evaluation of the forecast possibility of sudden changes in illuminance level during the day, depending on the local weather changes, for example, such as the developing of cumulonimbus clouds, was done. In general, it can be concluded that the key to successful natural day lightning forecasting based on the model COSMO-RU1 is the quantitative playback of diurnal variation of solar radiation and cloud cover.

Оценка точности радиационных расчетов мезомасштабной прогностической моделью **Cosmo-Ru** и влияние аэрозоля на прогноз метеорологических элементов

Полюхов А.А[1], Чубарова Н.Е.[1](natalia.chubarova@gmail.com), Ривин Г.С.[1], Шатунова М.В.[2]
[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия
[2]Гидрометцентр России, Б. Предтеченский пер. *11–13, 123242* Москва, Россия

Точное воспроизведение потоков солнечной радиации играет важную роль при моделировании метеорологических процессов гидродинамическими мезомасштабными моделями. В работе анализируются результаты радиационных расчетов, проведенных с помощью относительно нового эффективного радиационного кода CLIRAD-SW [1] и выполненных непосредственно в мезомасштабной модели COSMO-Ru [2, 3, 4]. Тестирование расчетов проводилось с помощью эталонной радиационной модели Курчатовского центра, а также по данным наземных радиационных измерений в Метеорологической обсерватории (МО) МГУ. Радиационные компоненты измерялись балансомером CNR4 фирмы Kipp&Zonen. Для этого прибора были определены возможные погрешности и уточнены аппаратурные константы для длинноволновой нисходящей радиации. Аэрозольные характеристики атмосферы и содержание водяного пара были получены из измерений фотометром CIMEL, установленного в МО МГУ в рамках международной программы AERONET [5, 6]. Сопоставления были проведены для ясных дней с разными оптическими и микрофизическими свойствами аэрозоля при различном альбедо поверхности и в широком диапазоне высот Солнца. Особое внимание было уделено сравнению эффектов аэрозольного загрязнения атмосферы, наблюдавшихся 20 ноября 2014 года в условиях стационарного антициклона.

Проведенные сравнения с эталонной моделью показали, что ошибка модели CLIRAD-SW составляет около 2% для стандартных условий в Москве. А результаты сравнений этой модели с данными измерений показали, что модель хорошо воспроизводит суммарную радиацию и коротковолновый радиационный баланс: погрешности для типичных условий в среднем не превышают + 15 Вт/м^2 или 4%. Для условий аэрозольного загрязнения в ноябре 2014 г. ошибка возрастала до 25 Вт/м^2 (14%), однако учет в модели альбедо однократного рассеяния позволил несколько уменьшить ошибку в расчетах для загрязненных условий до 16 Вт/м^2 (9%).

В модели COSMO-Ru для условий с типичным аэрозолем отмечается заметное занижение суммарной коротковолновой радиации (до – 30 Вт/м^2), по сравнению с данными измерений и эталонными расчетами. Отмечаются более высокие значения длинноволнового баланса. Несколько заниженные значения температуры воздуха у поверхности Земли в модели COSMO-Ru, могут происходить за счет занижения коротковолновой части радиационного баланса. Обсуждаются результаты модельных экспериментов, проведенных с учетом и без учета аэрозоля, и их эффекты на метеорологические характеристики.

1. Tarasova T.A., Fomin B.A. The Use of New Parameterizations for Gaseous Absorption in the CLIRAD-SW Solar Radiation Code for Models. *J. Atmos Ocean Tech.* 2007. V. l24. № 6. P. 1157–1162.
2. Ritter B., Geleyn J.-F. A Comprehensive Radiation Scheme for Numerical Weather Prediction Model with Potential Applications in Climate Simulations. *Mon.Wea. Rev*. 1992. V. 120. P. 303–325.
3. Vilfand R.M., Rivin G.S., Rozinkina I.A. Mesoscale weather short-range forecasting at the Hydrometcenter of Russia, on the example of COSMO-Ru. *Rus. Met. Hydrology*. 2010. V. 35. № 1. P. 1–9.
4. Vilfand R.M., Rivin G.S., Rozinkina I.A. COSMO-Ru system of nonhydrostaticmesoscale short-range weather forecast of the Hydrometcenter of Russia: the first stage of realization and development. Russian *Meteorology and Hydrology*. 2010. V. 35. № 8. P. 503–514.
5. Holben, B.N., D.Tanre, A.Smirnov et al. Anemerginggroundbasedaerosolclimatology: Aerosol Optical Depth from AERONET. *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106. P 12 067–12 097.
6. Chubarova N., A. Smirnov, B.N. Holben. Aerosol properties in Moscow according to 10 years of AERONET measurements at the meteorological observatory of Moscow State University. *Geog. Environ. Sustain*. 2011. V. 1. № 4. P. 19–32.

The assessment of the accuracy of radiative calculations by the COSMO-Ru mesoscale prognostic model and the aerosol influence on the forecast of meteorological elements

A.A. Polyukhov[1], N.E. Chubarova[1] (natalia.chubarova@gmail.com), G.S. Rivin[1], M.V. Shatunova[2]

M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia
[3]Hydrometeorological Research Centre of Russian Federation, 11–13 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

Accurate reproduction of the flux of solar radiation plays an important role in the modeling of meteorological processes by mesoscale hydrodynamic models. In this work we discuss the results of radiation calculations carried out by using a relatively new effective CLIRAD-SW radiation code [1] and by direct utilizing the COSMO-Ru mesoscale model [2, 3, 4]. The testing of calculations was performed by benchmark calculations using the radiation model of Kurchatov Center, as well as data of ground-based radiation measurements at the Meteorological Observatory (MO) of Moscow State University. Radiation components were measured by Kipp&Zonen net radiometer CNR4. For this device we identified possible errors and refined the instrumental constants for the downward longwave radiation. Aerosol characteristics of the atmosphere and water vapor content were obtained from the CIMEL sun photometer measurements at the MO MSU, which were installed there as a part of an AERONET international program [5, 6]. The comparisons were made for sunny days with different optical and microphysical properties of aerosols at different surface albedo and over a wide range of solar elevations. A particular attention was paid to the comparison of the effects of aerosol pollution of the atmosphere, observed on 20 November 2014 in stationary anticyclonic conditions.

The comparisons with the reference model showed that the error of CLIRAD-SW model is about 2% for typical aerosol Moscow conditions. And the result of model comparison with measurements has shown that the model reproduces well the shortwave net radiation and global radiation budget: errors in typical conditions on the average do not exceed 15 Wm^{-2}, or 4%. In the aerosol pollution conditions in November 2014 the error increases to 25 Wm^{-2} (14%) but the account of the single scattering albedo provides the slight reducing of the error of the calculations up to 16 Wm^{-2} (9%).

In the COSMO-Ru model for the conditions with a typical aerosol one can see the underestimation of the total shortwave radiation (up to – 30 Wm^{-2}) in comparison with measurements and reference calculations. The longwave net radiation is overestimated. Slightly low values of air temperature at the Earth's surface in the COSMO-Ru2 model, may be observed due to the underestimation of the shortwave net radiation. We discuss the results of model experiments performed with and without the aerosol and the aerosol influence on the forecast of meteorological characteristics.

1. Tarasova T.A., Fomin B.A. The Use of New Parameterizations for Gaseous Absorption in the CLIRAD-SW Solar Radiation Code for Models. *J. Atmos Ocean Tech.* 2007. V. l24. № 6. P. 1157–1162.
2. Ritter B., Geleyn J.-F. A Comprehensive Radiation Scheme for Numerical Weather Prediction Model with Potential Applications in Climate Simulations. *Mon.Wea. Rev*. 1992. V. 120. P. 303–325.
3. Vilfand R.M., Rivin G.S., Rozinkina I.A. Mesoscale weather short-range forecasting at the Hydrometcenter of Russia, on the example of COSMO-Ru. *Rus. Met. Hydrology*. 2010. V. 35. № 1. P. 1–9.
4. Vilfand R.M., Rivin G.S., Rozinkina I.A. COSMO-Ru system of nonhydrostaticmesoscale short-range weather forecast of the Hydrometcenter of Russia: the first stage of realization and development. Russian *Meteorology and Hydrology*. 2010. V. 35. № 8. P. 503–514.
5. Holben, B.N., D.Tanre, A.Smirnov et al. Anemergingground-basedaerosolclimatology: Aerosol Optical Depth from AERONET. *J. Geophys. Res.* 2001. V. 106. P 12 067–12 097.
6. Chubarova N., A. Smirnov, B.N. Holben. Aerosol properties in Moscow according to 10 years of AERONET measurements at the meteorological observatory of Moscow State University. *Geog. Environ. Sustain*. 2011. V. 1. № 4. P. 19–32.

Модели радиационного поля Земли для прогноза изменений климата в условиях Арктики

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В., Козодеров В.В., Фомин Б.А., Фалалеева В.А., Краснокутская Л.Д., Белов В.В., Тарасенков М.В., Пригарин С.М.

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

Впервые поставлена задача объединить научный потенциал российских исследователей, обладающих уникальными разработками, обобщить достигнутое и задать вектор развития информационно-математического обеспечения с целью обеспечения теоретико-расчетных исследований радиационных процессов в условиях Арктики на основе аналитических и численных методов решения сложнейших задач теории переноса излучения в природных средах с учетом структуры оптико-геофизических параметров гетерогенной среды, процессов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом и условий инсоляции в дневных и ночных условиях в разные времена года.

Речь идет об аналитических (быстрые методы типа диффузии, квазидиффузии, двухпотоковое приближение, метод Соболева, метод средних потоков и т.п.) и численных методах решения скалярных и векторных краевых задач для кинетических уравнений в приближении Больцмана с бинарными взаимодействиями фотонов с веществом среды (сеточные конечно-разностные методы, метод сферических гармоник, метод сложения и удвоения слоев, метод характеристик с итерациями по кратности рассеяния и их модификации с ускоряющими процедурами, метод функций влияния и пространственно-частотных характеристик, передаточные операторы для линейных и нелинейных систем, матричные и тензорные методы, методы декомпозиции и факторизации, гибридные методы),

а также алгоритмов метода Монте-Карло и статистического моделирования на основе скалярных и векторных интегральных уравнений.

Сложность задачи обусловлена необходимостью использования многомерной сферической геометрии [1, 2], гетерогенностью и особым составом, состоянием и распределением всех компонент атмосферы, специфическим взаимодействием излучения с веществом, как в атмосфере, так и на земной поверхности, условиями инсоляции. Особенность региона такова, что из-за труднодоступности отдельных районов и отсутствия сети постоянных метеорологических наблюдений в Арктике математическое моделирование радиационных полей в большей степени является «сценарным», в том числе из-за неполноты данных оптико-геофизических параметров гетерогенной среды, необходимых для корректного учета и рассеяния и поглощения в атмосфере. Несомненно, математическое моделирование на суперкомпьютерах с параллельными алгоритмами является основой прогноза климата в Арктике под влиянием радиационного форсинга.

Работа поддерживается грантами Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 15-01-00783, 14-01-00197) и проектом Программы фундаментальных исследований РАН (ОМН-3(3.5) ПФИ РАН).

1. Сушкевич Т.А. Осесимметричная задача о распространении излучения в сферической системе // Труды ИПМ АН СССР. О-572-66. М.: ИПМ АН СССР. 1966. 180 С.
2. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2005. 661 с.

The models of the radiation field of the Earth to predict the climate changes in the arctic conditions

T.A. Sushkevich (tamaras@keldysh.ru), S.A. Strelkov, S.V. Maksakova, V.V. Kozoderov, B.A. Fomin, V.A. Falaleeva, L.D. Krasnokutskaya, V.V. Belov, M.V. Tarasenkov, S.M. Prigarin
Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia

For the first time, the task to unite the scientific potential of Russian researchers with the unique developments is set. It is necessary for generalizing the achivements and setting the evolution vector of the information-mathematical software to provide the theoretical and computational studies of the radiative processes in the Arctic conditions on the basis of the analytical and numerical methods for solving the complicated problems of the radiation transfer in the natural media taking into account the structure of the optical-geophysical parameters of a heterogeneous medium, the processes of the interaction of the electromagnetic radiation with matter and the conditions of an insolation source in day and night conditions at different times of the year.

We are talking about the analytical (quick methods such type as the diffusion, quasi-diffusion, the two-stream approximation, Sobolev method, method of average flows, etc.) and numerical methods for solving the scalar and vector boundary problems for the kinetic equations in the approximation of the Boltzmann with binary interactions of photons with matter environment (grid finite-difference methods, the method of spherical harmonics, the method of addition and doubling layers, method of the characteristics with iterations by the multiplicity of scattering and their modifications with accelerating procedures, method of influence functions and the spatial-frequency characteristics, the transfer operators for the linear and nonlinear systems, matrix and tensor methods, decomposition and factorization methods, hybrid methods, etc.), as well as the algorithms of the Monte Carlo method and statistical modeling based on the scalar and vector integral equations .

The complexity of the problem is due to the necessity of using the multi-dimensional spherical geometry [1, 2], heterogeneity and special composition, state and distribution of all atmospheric components, the specific interaction of the radiation with matter as in the atmosphere and on the Earth's surface, the insolation sources. The peculiarity of the region is such that because of the inaccessibility of the certain areas and the lack of a network of the permanent meteorological observations in the Arctic, the mathematical modeling of radiation fields is largely a "scenario", including because of the incompleteness of the data of the optical-geophysical parameters of the

heterogeneous environment necessary to correctly accounting the scattering and absorption radiation in the atmosphere. Undoubtedly, mathematical modeling on supercomputers with parallel algorithms is the basis of the forecast of the climate in the Arctic under the influence of the radiation forcing.

This research is supported by grants from the Russian Foundation for Basic Research (projects 15-01-00783, 14-01-00197) and the project of Program of Fundamental Scientific Research RAS (FMI-3 (3.5) PFSR RAS).

1. Sushkevich T.A. Axisymmetric problem of the radiation propagation in a spherical system // *Proc. IAM AS USSR*. O-572-66. M.: IAM AS USSR. 1966. 180 p.
2. Sushkevich T.A. *Mathematical models of the radiation transfer*. M.: BINOM. Knowledge Laboratory. 2005. 661 p.

A study on radiative transfer schemes in canopy for land surface models

Qiudan Dai (dqd@mail.iap.ac.cn)
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; P.O. Box 9804, Beijing 100029, China

This work develops methods for estimating radiative transfer within canopy in land surface modes (LSMs). By using the basic estimate for canopy reflectance and transmittance of a radiative transfer model under the condition of assumed zero soil reflectance, a sets of explicit analytical solutions of radiative transfer within the canopy with any soil reflectance magnitude are given. Also a set of explicit analytical solutions for two kinds of vegetations are derived. For two different kinds of vegetations in the same model grids, the radiative transfer models don't have to treat them separately every time. Using the explicit analytical solutions, the fractions of any kind of incident solar radiation reflected from (defined as surface albedo, or canopy reflectance), transmitted through (defined as canopy transmittance), and absorbed by (defined as canopy absorptance) the canopy and other properties pertinent to the radiative transfer within the canopy can be estimated easily on the ground surface below the canopy (soil or snow surface) with any reflectance magnitudes. This new transfer model scheme is very efficient computing.

Возможные погрешности при расчетах потоков длинноволнового излучения в окне прозрачности атмосферы **8–12** мкм, обусловленные континуальным поглощением H_2O

Фирсов К.М.[1] (fkm.volsu@mail.ru), Чеснокова Т.Ю.[2] (ches@iao.ru)
[1]Волгоградский государственный университет, пр. Университетский *100, 400062* Волгоград, Россия
[2]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева *1, 6340021* Томск, Россия

Окно прозрачности атмосферы 8–12 мкм является одним из определяющих спектральных интервалов в формировании теплового баланса атмосферы, причем вклад континуального поглощения в радиационный баланс является наиболее значимым. В настоящее время нет теоретических моделей, которые из первых принципов могли бы описать континуальное поглощение. По этой причине используют полуэмпирические модели, которые содержат параметры подгонки к экспериментальным данным. Наиболее популярна модель континуального поглощения MT_CKD, которая используется во многих атмосферных приложениях (http://rtweb.aer.com).

Сравнительно недавние экспериментальные измерения континуума, выполненные Ю.И. Барановым с соавторами [1, 2], демонстрируют расхождения с расчетами по модели MT_CKD. Поэтому было проведено моделирование потоков излучения в окне прозрачности 8–12 мкм с использованием двух моделей континуального поглощения: модель MT_CKD и модель, полученная нами на основе экспериментальных данных [1, 2]. Для того чтобы учесть многообразие атмосферных ситуаций, была сформирована выборка метеопараметров (360 вертикальных профилей) для летних условий Нижнего Поволжья за 2009 год. Лето было

средним по продолжительности, сухим и жарким, преобладал антициклонный тип погоды, осадки в основном выпадали в виде ливней и носили локальный характер, т.е. преобладала безоблачная атмосфера.

Результаты моделирования показали, что различие в моделях континуума для восходящих потоков в среднем составляло около 1 Вт/м^2, что малосущественно при расчете энергетического баланса на верхней границе атмосферы (общий восходящий поток ~ 300–400 Вт/м^2). Для нисходящих потоков расхождение было более значимым и составляло в среднем 3.5 Вт/м^2. Вклад foreign-континуума, вызванного взаимодействием молекул H_2O с молекулами воздуха, в нисходящие потоки оказался примерно в три раза выше, чем вклад в восходящие потоки и может быть уже существенным при оценке энергетического баланса на нижней границе атмосферы. Следует также отметить, что величина этого вклада коррелирует с вертикальным градиентом температуры.

Поскольку обе используемые модели континуума основываются на экспериментальных лабораторных данных, полученных при более высоких температурах, чем температуры в атмосфере Земли, для прогресса в этой области крайне необходимы новые экспериментальные измерения для более низких температур.

Работа поддержана грантом РФФИ №15-45-02655.

1. Baranov Yu.I., Lafferty W.J., Ma Q., Tipping R.H. Water-vapor continuum absorption in the 800–1250 cm^{-1} spectral region at temperatures from 311 to 363 K // *J.Q.S.R.T.* 2008. V. 109. № 12–13. P. 2291–2302.
2. Baranov Yu. I.and Lafferty W. J. The water vapour self- and water-nitrogen continuum absorption in the 1000 and 2500 cm^{-1} atmospheric windows // *Phil. Trans. R. Soc.* A. 2012. V. 370. P. 2578–2589.

Possible errors of calculation of longwave radiative fluxes in the transparency window of 8-12 μm due to H_2O continuum absorption

K.M. Firsov[1] (fkm.volsu@mail.ru), T.Yu. Chesnokova[2] (ches@iao.ru)
[1]*Volgograd State University, 100 pr. Universitetskii, 400062 Volgograd, Russia*
[2]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ak. Zueva pr., 6340021 Tomsk, Russia*

The transparency window of 8–12 μm is one of the most important spectral intervals for the formation of thermal balance of the atmosphere, at that the continual absorption contribution to the radiative balance is the most significant. At present, there are no theoretical models that can describe accurately the continuum absorption. Therefore, semiempirical models are used which contain parameters of fitting to experimental data. The MT_CKD model, used in many atmospheric applications, is the most popular (http://rtweb.aer.com).

The recent experimental measurements of the continuum, carried out by Yu. Baranov et al. [1, 2], demonstrate divergences from the MT_CKD model calculations. In our work the radiative fluxes are simulated in the transparency window 8–12 μm with the use of two continuum absorption models: the MT_CKD model and the model that we developed on basis of the experimental data [1, 2]. To take into account variety of the atmospheric situations, a sample of meteorological parameters (360 vertical profiles) is made for summer conditions of the Lower Volga region for 2009. The summer was of a moderate length, dry, hot with the prevalence of the weather of the anti-cyclone type and precipitations of local character mostly in the form of showers, i.e. the cloudless atmosphere predominated.

Simulation results have shown that difference in the continuum models for upwards fluxes is, in average, about 1 W/m^2 that is not substantial in the radiative balance calculation at the atmospheric top (total upward flux is 300–400 W/m^2). For downward fluxes, the difference is more significant (about 3.5 W/m^2). The contribution of foreign-continuum due to interactions of H_2O molecules with air molecules to the downward fluxes is found to be 3 times higher than this contribution to the upward fluxes and it can be essential in the estimation of radiative balance at the atmosphere bottom. It should be noted that the value of the contribution correlates with vertical gradient of temperature.

Since the both used continuum models are based on the experimental laboratory data recorded at the higher temperatures than the temperatures in the Earth atmosphere, the new experimental measurements at lower temperatures are needed to progress in this field.

This work was supported by grant RFBR №15-45-02655.

1. Baranov Yu.I., Lafferty W.J., Ma Q., Tipping R.H. Water-vapor continuum absorption in the 800–1250 cm^{-1} spectral region at temperatures from 311 to 363 K // *J.Q.S.R.T.* 2008. V. 109. № 12–13. P. 2291–2302.
2. Baranov Yu. I.and Lafferty W. J. The water vapour self- and water-nitrogen continuum absorption in the 1000 and 2500 cm^{-1} atmospheric windows // *Phil. Trans. R. Soc.* A. 2012. V. 370. P. 2578–2589.

Изменение облачности в атлантическом секторе Арктики за последние **100** лет

Чернокульский А.В. (a.chernokulsky@ifaran.ru), Эзау И.Н., Булыгина О.Н., Мохов И.И., Семёнов В.А.

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

Облачность является важным элементом климатической системы Арктики, контролируя радиацонный баланс поверхности. Облачность в Арктике активно изучается в последнее время, главным образом на основе данных спутниковых наблюдений, которые охватывают последние 30 лет. Существенно меньше исследований основано на более длительных наземных наблюдениях, которые включают и более ранние периоды.

В данной работе анализируется изменчивость облачности в атлантической части Арктики (Норвежское, Баренцево и Карское моря) на основе наземных визуальных наблюдений на российских и норвежских метеорологических станциях. Для последних трех десятилетий сравниваются данные наземных и спутниковых наблюдений. Проанализированы как данные о балле облачности, так и о повторяемости различных морфологических типов облаков (слоистых, кучевых, слоисто-кучевых и т.д.). Морфологические типы облачности являются хорошими индикаторами физических процессов нижней атмосферы, в частности, изменение повторяемости конвективных типов облачности указывает на изменения процессов вертикального перемешивания в тропосфере.

В работе отмечено, что балл общей и нижней облачности имел максимум во время раннего потепления 20 века (в районе 1930–1950 гг.) и возрастает в последние десятилетия после минимума в районе 1970-х гг. (во время холодного периода). Эти изменения выявлены для всех сезонов, при этом необходимо отметить, что в летний период облака в Арктике охлаждают поверхность, а в остальные сезоны облачность обладает отепляющим эффектом. Таким образом, отмеченные изменения облачности хорошо соотносятся с сезонной асимметрией раннего потепления 20 века (когда наибольшая положительная температурная аномалия отмечалась в зимний период) и могут являться одним из основных различий между современным и ранним потеплением в Арктике.

Холодный период в районе 1970-х гг. характеризуется большой повторяемостью числа наблюдений с ясным небом (0 баллов). Также было получено, что повторяемость пасмурных наблюдений (10 баллов) уменьшалась в течение всего периода наблюдений, а повторяемость наблюдений с разорванной облачностью (от 5 до 9 баллов) – росла.

Анализ изменчивости морфологических типов облачности показал, что в течение всего 20 века отмечается статистически значимый рост повторяемости конвективных форм облачности (в первую очередь слоисто-кучевых и кучево-дождевых) и сокращение повторяемости слоистых форм облачности (слоистых и слоисто-дождевых). Эти изменения проявляются в первую очередь в регионах с малым содержанием морского льда. В регионах, покрытых морских льдом, отмечен рост повторяемости облаков верхнего яруса.

Сравнение со спутниковыми данными показало существенные различия как в оценке абсолютных значений, так и в оценке трендов. По спутниковым данным отмечен отрицательный тренд конвективной облачности, выявлена отрицательная корреляция между

количеством конвективных облаков по наземным и спутниковым наблюдениям. В то же время для слоистых облаков отмечена статистически значимая положительная корреляция.

Качественные и количественные изменения облачности могут служить индикатором долгопериодных изменений циркуляционных режимов атмосферы Арктики. Тенденция к учащению конвективных типов облачности может быть индикатором уменьшения статической устойчивости атмосферы (ростом вертикального температурного градиента), что находится в хорошем согласии с современными представлениями о физике полярного усиления (главным образом, в нижней части тропосферы). Различия в изменениях облачности во время современного потепления и потепления середины 20 века могут служить дополнительным индикатором наличия антропогенного влияния.

Cloudiness variability over the Atlantic Arctic in the last century

A.V. Chernokulsky (a.chernokulsky@ifaran.ru), I.N. Esau, O.N. Bulygina, I.I. Mokhov, V.A. Semenov

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky 3, 119017 Moscow, Russia

Cloudiness plays the major role in the Arctic climate system since it controls the radiation balance of the surface. The Arctic cloudiness was intensively studied using satellite data products, which cover the last 30-years period. There are significantly less studies based on the long-term surface observations, which cover the period before the satellite era.

Our study analyses the cloud cover variability in the Atlantic part of the Arctic (the Norwegian, Barents and Kara Seas) utilizing ground-based observations of Norwegian and Russian meteorological stations. For the last 30 years ground-based data are compared with satellite observations. Ground-based data records reveal changes not only in the cloud cover but also in the cloud type (stratocumulus, stratus, etc). The cloud types are good indicators of the physical processes in the lower atmosphere; in particular, the change in amount of convective cloud types reflects the change in the atmospheric vertical mixing.

We have found that total and low cloud fractions have their maximums during the early 20th century warming (1930–1950) and are increasing in the recent decades. These tendencies are noted for all seasons. Clouds tend to warm surface air in all seasons except summer when they have a cooling effect. Thus, the revealed cloudiness changes are consistent with a seasonal asymmetry of the early 20th century warming.

The cold 1970s are characterized by high fraction of clear sky reports in the data sets. We also have found that the occurrence of overcast conditions decreases while the occurrence of reports with broken clouds increases during the whole period.

The analysis of the cloud types identified a pronounced increase of the convective cloud types (cumulonimbus and stratocumulus) and decrease of the stratiform cloud types (stratus and nimbostratus) in the observational records. These changes are the strongest over coastal and open-water stations. Over ice-band stations an increase of the occurrence of high-level cloudiness is found.

A comparison of ground-based and satellite data for cloudiness revealed sufficient distinctions in the detection of absolute values of cloudiness and in trends. According to satellite observations, the negative trend of convective cloudiness is observed, thus we found the negative correlation between convective cloud fractions from ground-based and from satellite observations. At the same time, for stratiform cloudiness the statistically significant positive correlation was revealed.

The quantitative and qualitative changes in cloudiness are indicators of the decadal-scale changes in the Arctic atmosphere and its circulation patterns. The tendency towards more frequent convective cloud types signals certain a decrease of the atmospheric static stability (an increase of the lapse rate), which is in good agreement with physical understanding of the amplified surface-layer warming of the Arctic. The differences in the cloud type changes during the early warming period and the present one presumably contain a fingerprint of the anthropogenic warming signal.

Inter-comparison of cloudy-sky downward longwave r adiation algorithms using model-based, ground-based, and space-based data

Shanshan Yu (yushan0427@163.com), Li Li, Hailong Zhang, Xiaozhou Xin
Institute of Remote Sensing and Digital Earth Chinese Academy of Science, Datun Road, Chaoyang District, 100101 Beijing, China

Downward longwave radiation (DLR) at the earth's surface is a major component of surface radiation budget and thus the climate, and remote sensing provides the most effective method to get surface DLR on a large scale. This paper presents a comparison of several DLR algorithms for cloudy-sky conditions. The types of algorithm were assessed, including: (i) four empirical algorithms determine cloud DLR using simple cloud correction based on cloud fraction cover, (ii) three parameterized algorithms that determine cloud radiative force by cloud temperature, (iii) a semi-empirical algorithm based on cloud water content. These algorithms were validated using synthetic data that simulated by atmospheric transfer model, ground observed data and satellite observed data respectively.

A synthetic dataset was first used to investigate model accuracy of these algorithms supposing input parameters were accurate. The synthetic data was simulated using MODTRAN cloud model and global profiles form TIGR. The results indicated that these algorithms predicted DLR accurately under clear-sky conditions, however, the predicted cloudy-sky DLR had significant errors. Most of the cloud-correction algorithms underestimated the cloudy-sky flux. The DLRs from the algorithms parameterized by cloud temperature had the same tendency with actual DLRs, but negative systematic biases were presented. The semi-empirical algorithm was developed by global distributed data, therefore the DLR from the algorithm had smaller errors than other algorithms, but DLRs were underestimated when cloud effect was very large. Then ground measured atmospheric parameters and cloud parameters from atmospheric radiation measurement (ARM) were used to estimate DLRs. The results were similar with those from synthetic dataset, while the results were affected by the uncertainty of atmospheric and cloud parameters. The semi-empirical algorithm had the best result and the algorithms based on cloud base temperature had worst results.

Finally these algorithms were applied to actual MODIS Terra data, the cloud parameters from MODIS cloud products, and the atmospheric parameters from NCEP data were used in DLR estimation. The DLRs were extensively validated using one year's ground data at 13 stations around globe. The validation results indicated that the DLR from the algorithms based on cloud base temperature was greatly influenced by the uncertainty of cloud base temperature and cloud fraction. The semi-empirical algorithm had best results in most of the sites and the uncertainties of cloud parameters had very little impact on the algorithm, because the cloud contribution term of this algorithm is parameterized by less sensitive cloud parameter .

Overall, no algorithm was perfect in these algorithms according this study. Though the algorithms based on cloud temperature are more reasonable in physical meaning, they were greatly affected by cloud parameters. The semi-empirical algorithm that developed by extensive global data training was suggested to calculated cloudy-sky DLR when cloud parameters were poor in quality. In the future, an algorithm with more perfect physical definition and good performance should also be developed.

О влиянии антропогенного и естественных факторов на изменение климата Земли

Терез Э.И.[1] (terez@crimea.edu), Терез Г.А.[2], Сосновский Ю.В.[3]
[1]Крымская астрофизическая обсерватория, пос. Научный, *298409* Крым, Россия
[2]Научно-исследовательский экологический центр, пр. Вернадского *2*, Симферополь, *295007* Крым, Россия
[3]Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, пр. Вернадского *4*, Симферополь, *295007* Крым, Россия

В настоящее время проблема изменения климата Земли стала одной из основных по степени воздействия на мировое сообщество. Необходимо уточнить, что речь идет не о долговременном изменении климата (в масштабе десятков и сотен тысяч лет), а об изменениях, происходящих с середины XIX века по настоящее время. Тот факт, что эти изменения реальны, подтверждается результатами измерений многих авторов и, прежде всего, независимыми исследованиями, выполненными в течение последних 30 лет, трех групп ученых [1]: the Climatic Research Unit (CRU) of the University of East Anglia in the UK in collaboration with the Hadley Center of the UK Met Office; NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS); and the National Oceanic and Atmospheric Administration's National Climatic Data Center (NCDC). Эти исследования демонстрируют монотонное повышение глобальной температуры Земли (T), начиная с начала XX века при небольшом понижении T в период с 1945 по 1970 гг. Однако, результаты этих исследований не дают ответа на главный вопрос, который волнует мировую общественность. Зафиксированное потепление климата – это кратковременные флуктуации на фоне глобальных многотысячелетних климатических изменений или это устойчивая тенденция последнего столетия, связанная с индустриализацией мировой экономики?

В настоящее время сложилось две гипотезы:

1). Потепление климата, вызванное наличием двух естественных циклов – 60- и 200-летних изменений параметров земной атмосферы, связанных с ритмикой солнечной активности [2].

2). Концепция антропогенного потепления, вызванная ростом в XX веке выбросов парниковых газов.

Обе концепции достаточно хорошо объясняют рост глобальной температуры Земли, но в то же время некоторые экспериментальные факторы противоречат либо одной, либо другой концепции. Так, в настоящей работе показано, что наиболее быстрый рост глобальной температуры наблюдался в последние 30 лет. Но по данным спутниковых измерений в эти годы интегральный внеатмосферный поток от Солнца (солнечная постоянная) был практически постоянным (точнее, изменялся в пределах ± 0.1% синхронно с изменением солнечной активности внутри 11-летнего цикла). Далее, по данным актинометрических измерений коэффициент интегральной (широкополосной) прозрачности атмосферы монотонно уменьшался с 1945 г. до 1991 г., после чего начал быстро расти до 1997 г. и в дальнейшем оставался практически постоянным [3]. Это не согласуется с концепцией циклических периодов атмосферных колебаний. Если же рассматривать антропогенный эффект, как основной механизм потепления климата, то непонятно, почему количество водяного пара в атмосфере (основной парниковый газ) на протяжении последних 50 лет оставалось строго неизменным.

В докладе обсуждаются ограничения при использовании обеих представленных гипотез.

1. Levi B.G. Earth's land surface temperature trends: A new approach confirms previous results // *Physics Today*. 2013. № 4. P. 17–19.
2. Замолодчиков Д.Г. Естественная и антропогенная концепции современного потепления климата // Вестник РАН. 2013. Т. 83. № 3. С. 227–235.
3. Ohvril, H., Teral H., Neiman, et al. Global dimming/brightening vs atmospheric column transparency and volcanic activity // *J. Geophys. Res.* 2009. V. 1. № 4. P. 121–143.

About anthropogenic and natural factors of Earth climate change

E.I. Terez[1] (terez@crimea.edu), G.A. Terez[2], Yu.V. Sosnovsky[3]
[1]*Crimean Astrophysical Observatory, pos. Nauchnyi, 298409 Crimea, Russia*
[2]*Ecology Research Centre, 2 pr. Vernadskogo, Simferopol, 295007 Crimea, Russia*
[3]*V.I. Vernadskiy Crimean Federal University, 4 pr. Vernadskogo, Simferopol, 295007 Crimea, Russia*

Currently a problem of Earth climate change has become one of the main factors influencing world community. One should clarify that we are not talking about long-term changes (10,000 to 100,000 years) but changes from 1850s to present. The fact that these changes are real has been confirmed by many studies and measurements of several researchers and mostly importantly by independent studies by teams [1]: the Climatic Research Unit (CRU) of the University of East Anglia in the UK in a collaboration with the Hadley Center of the UK Met Office; NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS); and the National Oceanic and Atmospheric Administration's National Climatic Data Center (NCDC) during last 30 years. Their work has demonstrated a monotonic increase of the Earth global temperature (*T*) starting from the beginning of 20's century with a small decrease of temperature (*T*) during 1945–1970. However, results of these research studies do not answer the main question concerning world community. Is this recorded climate warming a short-term fluctuation on a background of global climatic changes of thousand years or a stable tendency of the last century related to the world economy industrialization?

Today, there are two hypotheses:

1). Natural climate warming caused by two natural cycles, 60-year and 200-year changes in parameters of the Earth's atmosphere related to Solar activity [2].

2). A concept of anthropogenic warming caused by rising greenhouse gases in 20's century.

Both concepts quite well describe a rise in the Earth global temperature, and at the same time several experimental factors are contradictory to one or the other concept. Thus, the current work shows that the fastest growth in the Earth global temperature happened during last 30 years. However according to satellite measurements, the integral external solar energy flux was practically constant (more precisely changed in ranges of ± 0.1% within the 11-year solar cycles). Further in accordance with the actinometric measurements, the atmospheric integral (broadband) transparency coefficient (apparently, the most important climatic factor) decreased from 1945 to 1991 and then rose until 1997 and after that was practically constant [3]. This does not agree with a concept of cyclical atmospheric changes. If we consider an anthropogenic effect of the climate change, then it is not clear why the atmospheric water vapor content affecting the Earth's climate significantly was strictly constant over a span of last 50 years.

The report discusses some limitations of both presented hypotheses.

1. Levi B.G. Earth's land surface temperature trends: A new approach confirms previous results // *Physics Today*. 2013. № 4. P. 17–19.
2. Zamolodchikov D.G. Natural and anthropogenic conception of modern climate warming. Vestnik of RAS. 2013. V. 83. № 3. P. 227–235 (in Russian).
3. Ohvril, H., Teral H., Neiman, et al. Global dimming/brightening vs atmospheric column transparency and volcanic activity // *J. Geophys. Res.* 2009. V. 1. № 4. P. 121–143.

Современные тенденции изменений радиационных параметров атмосферы и составляющих радиационного баланса в Москве

Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru)
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119899* Москва, Россия

По данным актинометрических наблюдений за 60 лет в Метеорологической обсерватории МГУ были получены климатические нормы различных радиационных параметров для трех периодов осреднения: 1961–1990; 1971–2000; 1981–2010 гг. На основе сравнения норм и средних за разные периоды осреднения значений параметров,

интерпретации формы и значимости трендов в зависимости от периода осреднения показано, что начиная с середины 90-х годов прошлого века, для многих из них начали отмечаться тенденции, отличные от прошлых лет. Сейчас можно констатировать, что эти тенденции значимы, сохраняются на протяжении длительного периода, и, следовательно, являются климатическими изменениями.

К числу таких изменений можно отнести уменьшение аэрозольной мутности атмосферы, увеличение влагосодержания атмосферы, уменьшение рассеянной солнечной радиации, увеличение доли прямой радиации в суммарном потоке; уменьшение периода со снежным покровом, уменьшение альбедо и отраженной радиации, увеличение противоизлучения атмосферы, рост общего радиационного баланса. Наметилась тенденция уменьшения балла облачности. Стабильное снижение балла нижней облачности определило увеличение продолжительности солнечного сияния и рост суммарной солнечной радиации.

Изменения в основных составляющих общего радиационного баланса привело к его значительному росту. Число дней с отрицательными суточными суммами радиационного баланса уменьшилось практически вдвое. Его среднее значение за 2014 г. стало абсолютным максимумом за весь период наблюдения. В последнее десятилетие это уже третий год смены абсолютного максимума общего радиационного баланса. Такие изменения радиационного баланса обусловили значимый тренд температуры приземного воздуха, что свидетельствует о потеплении климата Москвы и Московской области.

Up-to-date trends in the radiation parameters of the atmosphere and the radiation balance components in Moscow

E.V. Gorbarenko (catgor@mail.ru)

M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, 1 Vorobyevi Gory, 119899 Moscow, Russia

Climatic norms of various radiation parameters from solar radiation observations at the Meteorological Observatory of Moscow State University during 60 years were obtained for the three periods averaging: 1961–1990; 1971–2000; 1981–2010. Based on a comparison of norms, depending on the averaging period, the interpretation of the form and significance of trends, it was shown that, since the mid-90s of the last century, trends of majority parameters became to differ from others gathered for the previous years. We can say now that these differences are significant and observed for a long period. In fact, they can be considered as climatic changes at regional level.

These changes include such factors as a reduction of aerosol atmospheric turbidity, an increase of the atmospheric moisture content, a decrease of the diffuse solar radiation, an increase of the direct radiation ratio in the total solar flux, a reduction of the period with snow cover, a decrease of the albedo and reflected radiation, an increase of upwelling atmospheric radiation, an increase of the total radiation balance. The outlined tendency of reducing the lower cloud amount determines the increase of the sunshine duration and growth of the total solar radiation.

Variances in components of the total radiation balance determine its significant augmentation. The number of days with negative daily sums of the radiation balance decreased by almost half. The average value of the radiation balance for 2014 was the absolute maximum for the entire period of observations. In the past decade, this is already the third year of the change of such maximum. These changes in the radiation balance caused a significant trend in surface air temperature, indicating a warming of Moscow and the Moscow region.

Условия, способствующие появлению УФ-недостаточности у человека, в Москве по данным расчетов и измерений

Жданова Е.Ю. (ekaterinazhdanova214@gmail.com)
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия

Известно, что за счет поглощения ультрафиолетовой радиации (УФР) кожей в организме человека образуется витамин D. Индивидуальные особенности организма человека: степень пигментация кожи, возраст, доля открытости тела человека оказывают влияние на эффективность образования витамина D. В холодный период года низкие дозы УФР могут привести к заболеваниям, связанным с недостаточностью витамина D. Дозы УФР у поверхности Земли определяются такими основными факторами, как высота Солнца, общее содержание озона, аэрозольные и облачные характеристики, альбедо поверхности. Принимая, что рекомендованная ежедневная доза витамина D составляет 1000 МЕ (международные единицы) [1], пороговые значения дозы УФР, при которых образуется необходимое количество витамина D, определялись по методике [2] при различных степенях открытости кожи человека, а также по рекомендациям [1, 3]. В качестве источника информации об уровне УФР в Москве использовался архив многолетних измерений эритемной УФР версии 3 Метеорологической Обсерватории МГУ.

В частности, было получено, что, если открыты лицо и шея (9% тела), то УФ-недостаточность наблюдается с августа по конец апреля, а в случае, если открыты лицо, шея и руки (25% тела) – с середины октября по начало марта. Если учитывать зависимость открытости тела человека от эффективной температуры воздуха, то условия УФ-недостаточности в среднем наблюдаются с середины октября по середину марта. Дополнительно было рассчитано количество дней в течение каждого месяца, когда существуют благоприятные условия для образования витамина D. На основании модельных расчетов выявлено, какие значения атмосферных параметров способствуют появлению условий УФ-недостаточности.

1. Richard McKenzie, Mario Blumthaler, Susana Diaz et al. Rationalizing nomenclature for UV doses and effects on humans // In CIE 209:2014 and WMO-GAW Report No. 211 Joint Publication, 2014.
2. Chubarova, N., Zhdanova Ye. Ultraviolet resources over northern Eurasia // *J. Photochem. Photobiology B: Biology*. 2013. V. 127. P. 38–51.
3. CIE 2006: Action spectrum for the production of previtamin D3 in human skin, 2006 // International commission on illumination Technical report. P. 1–12.

UV-deficiency conditions in Moscow according to calculations and measurements

Ye.Yu. Zhdanova (ekaterinazhdanova214@gmail.com)
M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia

It is known that vitamin D is formed in human body via skin due to absorption of ultraviolet radiation (UV). Individual features of human such as skin pigmentation, age, open body fraction affect the cutaneous production of vitamin D. Low UV doses in winter conditions contribute to ailments associated with vitamin D deficiency. UV doses at the Earth surface depend on main geophysical parameters: Sun elevation, total ozone content, surface albedo, cloud and aerosols properties. Assuming that sufficient daily vitamin D dose is 1000 international units [1], the threshold UV doses for vitamin D production are determined by the methodology proposed in [2] considering different open body fraction and also by recommendations in [1, 3]. The results of long-term measurements of erythemal UV radiation at the Meteorological Observatory Moscow State University are applied in calculations.

In particular, it has been obtained that, if face and neck are opened (9% of human body), UV-deficiency conditions are observed from August till end of April; in case, if face, neck and arms are opened (25% of human body), UV-deficiency conditions are observed from mid-October till the

beginning of March. If consider the dependency open body fraction from the effective air temperature, UV-deficiency conditions are observed in average from mid-October till mid-March. Estimations of the monthly frequencies of days with favorable for vitamin D formation were carried out. According to model calculations we have revealed which values of atmospheric parameters influencing on UV doses lead to UV-deficiency conditions.

1. Richard McKenzie, Mario Blumthaler, Susana Diaz et al. Rationalizing nomenclature for UV doses and effects on humans // In CIE 209:2014 and WMO-GAW Report No. 211 Joint Publication, 2014.
2. Chubarova, N., Zhdanova Ye. Ultraviolet resources over northern Eurasia // *J. Photochem. Photobiology B: Biology*. 2013. V. 127. P. 38–51.
3. CIE 2006: Action spectrum for the production of previtamin D3 in human skin, 2006 // International commission on illumination Technical report. P. 1–12.

Validation of the photolysis rate response to the solar irradiance variability

Timofei Sukhodolov (timofei.sukhodolov@pmodwrc.ch), Eugene Rozanov, William Ball, Alkiviadis Bais, Kleareti Tourpali, Alexander Shapiro, Paul Telford, Sergey Smyshlyaev, Boris Fomin, Rolf Sander, Sébastien Bossay, Martyn Chipperfield, Thomas Peter, and Werner Schmutz

PMOD/WRC, 33 Dorfstrasse, CH-7260, Davos Dorf, Switzerland Davos, Swiitzerland

The state of the stratospheric ozone layer and temperature structure of the atmosphere are mostly maintained by photolytical processes. Therefore, uncertainties in the magnitude of the change of the spectral solar irradiance (SSI) during the declining phase of solar cycle 23 have substantial implications for the modelling of middle atmosphere evolution. To estimate the impact of SSI uncertainties we compared the photolysis rates of the most important middle atmosphere species, calculated with the reference high resolution model libRadtran, using SSI obtained from two SSI models and one dataset based on the Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE) satellite observations. Obtained differences between datasets we applied as correction factors to the photolysis rates profiles of 1D radiative-convective model and showed that resulting changes in ozone and temperature could be as high as the 11-year solar cycle signal changes in these parameters.

Analysis of 7 current parameterizations performance in terms of absolute values and solar signal demonstrated that in most cases all parameterizations agree within 5–15%. However, each of the schemes has larger situational deviations caused by various reasons from Rayleigh scattering to quantum yields treatment and absorption cross-sections. The largest uncertainty is located in the mesosphere and defined by the Lyman-alpha line treatment.

Чувствительность радиационного форсинга и радиационной температуры атмосферы к структуре стратосферного сернокислого аэрозоля и его параметрам

Фролькис В.А.[1,2] (VFrolkis@vf13868.spb.edu), Кокорин А.М.[3]

[1]Петербургский государственный университет путей сообщения, Московский пр. *92, 190031* Санкт-Петербург, Россия

[2]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

[3]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Санкт-Петербургский филиал, *1*-ая линия В.О. *30, 199004* Санкт-Петербург, Россия

Частицы сернокислого стратосферного аэрозоля весьма разнообразны и по структуре, и по размерам, что приводит к некоторой неопределенности при оценке воздействия таких частиц на погоду и климат. В этой связи исследуется влияние внутренней структуры двухфазных частиц стратосферного аэрозоля и их распределения по размерам на оптические

характеристики аэрозольного слоя (в приближении Ми), радиационный форсинг и радиационную температуру. Внутренняя структура, обусловленная двухфазным составом частиц, моделируется: а) различными значениями отношения полного радиуса частицы к радиусу ее ядра (что позволяет оценить степень растворения ядра в сернокислой оболочке) и б) представленим частиц в виде: 1) частиц с четкой границей между ядром и оболочкой; 2) частиц с размытой границей между фракциями; 3) частиц с полностью растворимым ядром. Размеры частиц описываются логарифмически нормальным законом распределения с различными значениями параметров положения и формы.

Для сернокислого аэрозольного слоя рассчитаны коэффициенты ослабления, альбедо однократного рассеяния и факторы асимметрии в видимом, БИК и ИК диапазонах. Оценивается чувствительность мгновенного радиационного форсинга и радиационной температуры атмосферы к структуре аэрозольных частиц и параметрам, характеризующим их распределение по размерам.

The sensitivity of the radiative forcing and radiative temperature of the atmosphere to the structure and parameters of stratospheric sulfate aerosol

V.A. Frolkis[1,2] (VFrolkis@vf13868.spb.edu) and A.M. Kokorin[3]

[1]*Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky pr., 190031 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*Saint-Petersburg State University, Physics Dept., 1 Ulianovskaya st., 198510 Saint-Petersburg, Russia*

[3]*P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, St. Petersburg Department, 30 1st Line V.O., 199004 Saint-Petersburg, Russia*

Sulfate stratospheric aerosol particles are very diverse in structure and size that leads to some uncertainty in assessing the impact of these particles on weather and climate. In this connection, the influence of internal structure of sulfate stratospheric aerosol particles and of their size distribution on optical characteristics (in Mie approximation) aerosol layer, on radiative forcing and on radiative atmosphere temperature is studied. Due to particles two-phase composition the internal structure is modelled by various ratio of the total particle radius to its nucleus one (it allows to evaluate the degree of nucleus dissolution in the sulphuric acid shell), and by the presentation of the particles in the form of: 1) particles with a sharp boundary between the nucleus and shell; 2) particles with a diffuse boundary between the fraction; 3) particles with completely soluble nucleus. Particle sizes are described by the log-normal distribution with various parameter values.

The coefficients of extinction, the single scattering albedo and the asymmetry factor in the visible, NIR and IR intervals due to aerosol layer are calculated. Sensitivity of instantaneous radiative forcing and of radiative temperature of the atmosphere to the structure of the aerosol particles and parameters describing the size distribution is estimated.

Результаты многолетнего мониторинга оптической плотности атмосферы на среднеширотных и полярных станциях

Русина Е.Н. (rusina@aari.ru), Радионов В.Ф., Сибир Е.Е.

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

Для оценки степени общего замутнения атмосферы в различных регионах Российской Федерации по данным станций, работающих по программе фонового мониторинга загрязнения атмосферы, мы используем наблюдения за прямой солнечной радиацией. В качестве основного параметра выбрана оптическая плотность атмосферы (ОПА), отнесенная к оптической массе атмосферы $m = 2$, т.е. к высоте Солнца, равной 30°. ОПА связана с коэффициентом интегральной прозрачности P_2 соотношением:

$$\text{ОПА} = \ln P_2 = 0.5 \ln (S_{,30} / S_0),$$

где $S_{,30}$ величина измеренного потока прямой солнечной радиации в кВт/м^2, приведенная к среднему расстоянию от Земли до Солнца и оптической массе атмосферы

$m = 2$; S_0 – величина потока радиации на верхней границе атмосферы. ОПА в основном определяется ослаблением прямой солнечной радиации в диапазоне длин волн $\Delta\lambda = 0.3$–4 мкм, где ее вариации главным образом связаны с изменением содержания в атмосфере аэрозоля и водяного пара. Таким образом, ОПА можно рассматривать, как косвенную характеристику аэрозольного ослабления.

В данной работе представлены результаты многолетнего мониторинга ОПА на шести российских станциях фонового мониторинга атмосферы и трех парных фоновым городских станциях за период с 1972 по 2014 год. Станции расположены в широтной зоне от 43° до 66° с.ш. Полученные результаты сопоставлены с данными многолетнего мониторинга ОПА в полярных регионах. Российские станции фонового мониторинга начали свою работу с 1972–1973 гг. Эта работа проводилась в рамках международной программы фонового мониторинга загрязнения атмосферы (BAPMoN) под руководством WMO (Всемирной Метеорологической Организации). В 1989 г. BAPMoN была трансформирована в Глобальную Службу Атмосферы (GAW). В программу GAW входили наблюдения за прямой солнечной радиацией в определенных спектральных интервалах. По результатам этих наблюдений рассчитывалась спектральная аэрозольная оптическая плотность атмосферы (АОП) и связанный с распределением аэрозольных частиц по размерам показатель селективности аэрозольного ослабления Ангстрема α. В 1995 г. эти наблюдения в России были прерваны в связи с невозможностью обеспечения необходимого метрологического сопровождения этих измерений. В 1997 г. на станциях фонового мониторинга начала действовать сокращенная программа наблюдений за интегральной оптической плотностью и прозрачностью атмосферы (ОПА и P_2). В 2015 г. было полностью завершено восстановление рядов результатов наблюдений за ОПА по всем станциям фонового мониторинга за период от начала их работы и до 2014 г. включительно.

В докладе рассмотрены тенденции изменения среднегодовых значений ОПА в районах проведения фоновых наблюдений за период с 1972 по 2014 год, нормы для ОПА, рассчитанные за 30-летний период с 1979 по 2012 (за исключением четырех лет, когда сказывалось влияние крупных вулканических извержений), а также относительные отклонения ОПА от многолетней нормы. На примере 2014 года приводятся результаты внутригодовой изменчивости ОПА. Линейные тренды, построенные для среднегодовых значений ОПА на всех фоновых станциях, указывают на постепенное снижение ОПА за весь рассматриваемый период наблюдений (1972–2014 гг.).

Приведены некоторые результаты долгопериодных измерений ОПА в Северной и Южной полярных областях. Проиллюстрированы различия в ОПА на региональных и городских станциях Арктики после 2000 года. Показаны соотношения между аэрозольной (полученной по прямым спектральным наблюдениям за солнечной радиацией) и интегральной оптическими плотностями атмосферы на примере последних синхронных измерений в антарктической обсерватории Мирный. Рассмотрена многолетняя изменчивость этих характеристик в полярных областях.

The results of long-term monitoring of the total optical depth of the atmosphere at the mid-latitude and polar stations

E.N. Rusina (rusina@aari.ru), V.F. Radionov, E.E. Sibir
Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 St.Petersburg, Russia

To assess the degree of total turbidity of the atmosphere we use observations of the direct solar radiation in the atmosphere at the background air pollution monitoring stations in different regions of the Russian Federation. The main parameter is the total optical depth of the atmosphere (TOD), referred to the optical mass of the atmosphere $m = 2$, i.e., to the height of the Sun, equal to 30°.

TOD is associated with the transparency coefficient P_2 as follows:

$$\mathrm{TOD} = \ln P_2 = 0.5 \ln (S_{,30} / S_0),$$

where $S_{,30°}$ represents the measured flux of direct solar radiation in kW/m^2 normalized to the average distance from the Earth to the Sun and the atmospheric optical mass $m = 2$, and S_0 represents the radiation flux at the upper boundary of the atmosphere. TOD is mainly determined by the attenuation of the solar radiation in the wavelength range $\Delta\lambda = 0.3–4\mu m$, where its variations are related to variations of the total content of the aerosol and water vapor. Thus, TOD could be considered as an indirect characteristic of the aerosol extinction.

This paper presents the results of the long-term monitoring of the TOD at six Russian background air pollution monitoring stations and three city stations working as pairs to regional background stations for the period from 1972 to 2014. The stations are located at latitudes ranging from 43°N to 66°N. The results are compared with those of long-term monitoring of the TOD in the Polar regions. Russian background air pollution monitoring stations started their work in 1972–1973. Observations were carried out within the framework of the international program for background air pollution monitoring (BAPMoN) led by World Meteorological Organization (WMO). In 1989, BAPMoN was transformed into the Global Atmosphere Watch (GAW). The GAW program included observations of aerosol optical depth (AOD) of the atmosphere, which were carried out by measuring direct solar radiation in specific spectral intervals. Based on the measurements, the AOD at specific effective wavelengths and the Ångström exponent used for assessing the aerosol extinction in the atmosphere and size distribution of the aerosol particles could be determined. In 1995, these observations were interrupted in Russia due to the inability to provide the necessary metrological support of the measurements. In 1997, a reduced program for monitoring the total optical depth and the transparency of the atmosphere was launched at the background air pollution monitoring stations allowing indirect estimates of the aerosol turbidity of the atmosphere (TOD and P_2). In 2015, we completed the restoration of the TOD data sets for the 1972–2014.

In this paper we present the trends in average annual values of the TOD in the areas of background air pollution monitoring stations for the period from 1972 to 2014, the norms of TOD calculated over 30-year time period from 1979 to 2012 (excluding the years influenced by major volcano eruptions), the relative deviations of annual mean TOD from their norms, and the intra-annual variability of TOD using year 2014 as an example. We demonstrate a trend of gradual reduction of the annual TOD values for the period from 1972 till 2014 at all stations.

Some results of long-term measurements of TOD in the North and South Polar regions are also presented in the paper. We show the differences in the TOD at regional and urban stations in the Arctic after the year 2000, and the correlation between the AOD values (obtained by direct spectral observations of solar radiation) and the TOD values using latest synchronous measurements at the Antarctic observatory Mirny as an example. Finally, we demonstrate the long-term variability of these characteristics in the Polar regions.

Феномен гравилинзирования Венерой проникающего излучения Солнца как навигатор причины изменения современного климата

Никольский Г.А. (gnik777@mail.ru)
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Очевидные изменения современного климата, несомненно, связаны с нарушениями сезонной циркуляции в атмосфере и глубинах мирового океана и, по-видимому, также связаны с увеличением с 2008 г. потоков солнечного проникающего излучения (СПИ). Появление такой тенденции, по-видимому, связано с ростом частоты и времени пребывания корональных дыр в центральном секторе солнечного диска. Непрерывные наблюдения за потоками СПИ с группой индикаторов кручения (модифицированные крутильные весы Кулона, Мышкина) конструкции киевского астронома А.Ф. Пугача засвидетельствовали нарастание частоты появления, и рост мощности всплесков потоков СПИ, переносящих угловой момент и, следовательно, увеличивающих завихренность в атмосфере и гидросфере.

Крутильные индикаторы Пугача (КИП) постоянно находятся в процессе тестирования, поскольку они уже давно регистрируют известные эффекты при новолуниях, полнолуниях и солнечных затмениях.

Однако, при солнечно-планетном соединении Солнца, Венеры и Земля (2012 г.) нами был обнаружен ранее неизвестный феномен гравитационного линзирования Венерой потока СПИ на Землю, где в это время работали несколько КИП. Процесс гравилинзирования был зарегистрирован от его начала и до конца. Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы:

1. Солнце является единственным в Солнечной системе источником мощного проникающего излучения (детектор – крутильный индикатор, реагирующий только на вихревое поле; геометрия временного хода процесса гравилинзирования реалистично отражает вероятный ход этого процесса).

2. Квант поля СПИ имеет массу покоя (эффект гравилинзирования), то есть он является нейтральной элементарной частицей, обладающей массой покоя и спином.

3. Средняя скорость поля СПИ на пути от Венеры до Земли конечна и для 06.06.12 г. составляет 2128 ± 30 км/с.

4. На поверхности Земли поток СПИ смешивается с внутриземным потоком трансформированного СПИ (ТСПИ), притом ТСПИ локально может превышать исходный на пару порядков. В результате на земной поверхности всегда существует геопатогенная переменная многокомпонентная вихревая среда, активно воздействующая на биосферу.

5. Потоки СПИ и ТСПИ привносят в атмосферу и гидросферу вихревую (динамическую) энергию, составляющую от 8 до 15% от солнечной постоянной (в зависимости от солнечной активности).

6. Наметившаяся в период 2008–2014 гг. тенденция роста СПИ (ТСПИ) нашла явный выход в росте завихренности в атмосфере и океане и, как следствие, в увеличении погодных и климатических аномалий.

The phenomenon of the Venus gravilensing of the penetrating radiation from the Sun as a cause of modern climate change

G.A. Nikolsky (gnik777@mail.ru)
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

The obvious changes in the modern climate are connected, undoubtedly, with violations of the seasonal circulation in the atmosphere and ocean depths, as well as with the increase from 2008 of flows of the penetrating solar radiation (PSR). The emergence of this trend, apparently, is connected with increasing the frequency and residence time of the coronal holes in the Central sector of the solar disk. Continuous monitoring of the PSR flows with a group of torsion indicators (modified torsion balances Coulomb, Myshkin) developed by the Kiev astronomer A.F.Pugach has shown an increase in the emergence frequency and the power of PSR bursts that transport of the angular momentum and, consequently, increase the vorticity in the atmosphere and the hydrosphere. Torsion indicators Pugach (TIP) are constantly in the process of testing, since they have long recorded known effects in the new moons, full moons and solar eclipses.

However, during the solar-planetary conjunction of Sun, Venus and Earth (2012) we have discovered the previously unknown phenomenon of gravitational lensing the PSR flows by Venus. The gravilensing process was registered from the beginning to the end. Analysis of the obtained data allowed us to draw the following conclusions:

1. The Sun is the only source of the powerful penetrating radiation in Solar system (detector – a torsion indicator reacting only to the vortex field; the geometry of temporal behavior of the gravilensing process reflects realistic the probable behavior of this process).

2. Quantum PSR field has the rest mass (the effect of gravilensing), i.e., it is a neutral elementary particle with a rest mass and spin.

3. The average velocity of PSR field on the way from Venus to Earth is finite and equals to 2128 ± 30 km/s for 06.06.12.

4. On the surface of the Earth, the PSR flow mixes up with an intra-terrestrial flow of transformed PSR (TPSR), though TSPI locally may exceed the initial flow by a couple orders of magnitude. As a result, there is the geopathogenic variable multi-component vortex environment on the earth's surface, which actively impact on the biosphere.

5. PSR and TPSR flows add the vortex (dynamic) energy component (from 8% to 15% of the solar constant (depending on solar activity)) to the atmosphere and hydrosphere.

6. Growth trend PSR (TPSR), emerging in the period 2008–2014, found a clear exit in the growth of the vorticity in the atmosphere and ocean and, as a consequence, in the increase in weather and climate anomalies.

Радиационный режим в условиях интенсивных засух **1991–2010** гг. в Украине

Рыбченко Л.С. (L-Rybchenko@yandex.ru), Савчук С.В. (SvetlanaSVS@bigmir.net)
Украинский гидрометеорологический институт, пр-т Науки *37, 03028* Киев, Украина

В 1991–2000 гг. засуха наблюдалась в течение семи вегетационных периодов. Наиболее интенсивными были засухи в 1992 г., 1994 г., 1996 г., 1999 г. и 2000 г. В 2001–2010 гг. засуха отмечалась каждый вегетационный период. Интенсивными засухи были в 2001 г., 2002 г., 2003 г., 2005 г. и 2010 г.

Особенностью интенсивных засух за последнее двадцатилетие 1991–2010 гг. стало их распространение на большей части страны с существенными отклонениями составляющих радиационного режима относительно стандартной климатической нормы 1961–1990 гг. на севере, северо-востоке и востоке Украины. В отдельные засушливые периоды наибольшие их отклонения отмечались на западе и в Закарпатье. В период 1991–2000 гг. засухи стали формироваться на севере и западе, где в предыдущие годы они почти не наблюдались.

За двадцатилетний период 1991–2010 гг. наиболее интенсивные засухи с максимальными положительными отклонениями продолжительности солнечного сияния и прямой солнечной радиации относительно стандарта наблюдались на большей части страны в июле 1994 г. (по жесткости засуха была подобной засухам 1981 г., 1983 г. и 1986 г.), в июне 1999 г., мае 2000 г. и мае 2003 г.

Radiation regime under conditions of the 1991-2010 intensive droughts in Ukraine

L. Rybchenko (L-Rybchenko@yandex.ru), S. Savchuk (SvetlanaSVS@bigmir.net)
Ukrainian Hydrometeorological Institute, pr. Nauki 37, 03028 Kyiv, Ukraine

In 1991–2000, there was a drought during seven growing seasons. The most intensive droughts are observed in 1992, 1994, 1996, 1999 and 2000. In 2001–2010 droughts have been registered in each growing season. Intense droughts are observed in 2001, 2002, 2003, 2005 and 2010.

Particularly intense droughts on the most territory in recent twenty-year period 1991–2010 was accompanied with significant deviations of the radiation regime components relative to the standard climatic norm 1961–1990 in the north, northeast and east of Ukraine. In some dry periods the greatest deviations of the radiation regime were observed in the west and in the Carpathians. In the period 1991–2000 droughts began to form in the north and west, whereas in previous years they are almost not observed.

Over a twenty-year period 1991–2010's the most intense droughts with maximum positive deviations in the sunshine duration and direct solar radiation relative to the standard are observed on

most of the country in July 1994 (similar severe droughts were observed in 1981, 1983 and 1986), in June 1999, May 2000 and May 2003.

Relationship between extensive and persistent extreme cold events in China and stratospheric circulation anomalies

Hui Yang (yanghui@mail.iap.ac.cn)
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Chao Yang District, P. O. Box 9804, Beijing 100029, P. R. China

In this paper, OLR daily mean data from NCAR in America and NCEP/NCAR reanalysis daily data of atmospheric circulation are explored for the analysis of the relationship between extensive and persistent extreme cold events in China and stratospheric circulation anomalies. OLR composite analysis of extensive and persistent extreme cold events indicated that negative OLR anomaly (cold air) from Central Siberia affected China from north to south and the biggest negative OLR anomaly (cooling) stayed to the north of Nanling mountain. Therefore OLR can represent the spatial-temporal characteristics of winter low temperature in China and the activities of cold air. Further composite analysis on extensive and persistent extreme cold events had systematically revealed the evolution characteristics of atmospheric circulation in the stratosphere and troposphere and shown the circulation anomaly which played an important role in the occurring and vanishing of the cold events.

The results showed that significant signal was shown in stratospheric circulation on day – 10 (the time of ten days prior to the cold even occurrence), and the height anomaly in arctic stratosphere was positive which propagated downward and then affected the occurrence and development of the high-pressure ridge of Ural mountains in the middle troposphere. The stratospheric circulation in mid-latitude region also bore obvious change which propagated downward and then affected the enhancement of low-pressure trough east of Baikal-Balkhash Lake in the troposphere. Thus the historically rare cold event in China was associated with the changes of the stratospheric circulation. It was worth noting that the circulation changes in stratosphere were ahead of those in the troposphere, which provided a useful signal for the prediction of winter low temperature.

A method for estimating hourly photosynthetically active radiation in China by combining geostationary and polar-orbiting satellite data

Li Li (lili3982@163.com), Xiaozhou Xin, Hailong Zhang, Jiangfeng Yu, Qinhuo Liu
State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Photosynthetically active radiation (PAR) is an important parameter in ecosystem and land surface models. PAR represents the amount of solar radiation in the spectral range of 400–700 nm that travels through the atmosphere to the top of the vegetation canopy. In recent years, various methods using different input data to estimate PAR and produce different PAR products have been developed. However, most of the algorithms used in these state-of-the-art studies have not fully compensated for the low spatial and temporal resolution of the data, which affects the accuracy of the PAR estimates.

In this study, we have developed a method for estimating hourly PAR based on a combination of geostationary and polar-orbiting satellite data. The Multifunctional Transport Satellite (MTSAT) was selected to retrieve cloud optical depth (COD) with a higher spatial resolution, and the polar orbit satellite data of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) products were used to derive surface parameters based on multispectral characteristics. A look-up table was established by the Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum-Vector (6SV) and

the Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer (SBDART) model using the following parameters: solar zenith angle, total water vapor, total ozone column, aerosol optical depth (AOD), COD, surface elevation, surface albedo and PAR. The instantaneous PAR was linearly interpolated from the input data for the selected parameters and the look-up table. The root mean square error (RMSE) between the estimated and observed instantaneous PAR at the Huailai station was 45.72 W/m^2 for all sky conditions. The RMSE between the estimated and observed daily PAR at the meteorological stations was 17% in the eastern regions of China. The mean bias error (MBE) was between - 2.83 and 32.43 W/m^2 for the Tibetan Plateau. These results indicated that the proposed method can significantly improve the accuracy of PAR estimates and can be used to produce PAR products with high spatial and temporal resolution. However, the method requires further improvement, especially with respect to cloudy conditions.

Спектральное альбедо планеты Земля как индикатор эволюции климата

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В.
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. *4, 125047* Москва, Россия

Спектральные наблюдения – один из важных каналов информации в аэрокосмическом дистанционном зондировании Земли, исследовании и мониторинге радиационного баланса Земли как планеты, в астрономии и астрофизике. Измерение спектрального альбедо Земли как планеты во всех спектральных диапазонах от ультрафиолетового до миллиметрового излучения позволяет получить важную информацию как о свойствах источников и механизмах их излучения, так и о той среде, которая поглощает, рассеивает и отражает электромагнитные волны. В плане реализации натурных наблюдений это грандиозная задача будущего, а в настоящее время предлагается развитие информационно-математического аспекта и сценарного подхода к решению поставленной проблемы на основе математического моделирования на суперкомпьютерах и параллельных супервычислений, для которых уже создаются приемлемые технические и технологические средства. Важно сформулировать универсальные системные модели и методы для супервычислений в задачах космического экологического и климатического мониторинга и исследования спектральных характеристик радиационного баланса и альбедо сферической Земли как глобальных характеристик эволюции климата планеты.

В течение тысячелетий человечество изучает звезды и планеты солнечной системы путем визуальных, а позднее фотографических и фотоэлектрических наблюдений. Только планета Земля до конца 50-х годов оставалась недоступной. Лишь по отраженному свету от поверхности Луны («пепельный свет») представлялось возможным оценить интегральное излучение Земли. В частности, такие оценки по «пепельному свету» были использованы как один из подходов для верификации сферической модели расчета поля яркости Земли [1], на основе которой в рамках Лунной программы СССР проводилось имитационное моделирование распределения яркости планеты Земля в условиях, приближенных к наблюдению Земли с возвращающейся ракеты на всей трассе от старта на Луне до достижения ближнего космоса Земли, когда, подобно Луне, виден полный диск Земли или его часть, половина диска или даже «серпик».

Как развитие опыта, приобретенного в Лунных проектах, предлагается идея нового подхода к изучению эволюции климата Земли как планеты на основе компьютерного моделирования спектрального альбедо Земли в сферической геометрии с использованием «сценариев» состояния системы «атмосфера-земная поверхность» (САЗ) в контролируемых условиях с разделением вкладов, обусловленных изменчивостью атмосферы и подстилающих поверхностей, что позволяет отслеживать влияние разных факторов климатической системы. Можно смоделировать и «пепельный свет» Луны, который всё более интересует исследователей в связи с неоднозначной оценкой «потепления» или

«похолодания» на Земле. Задача состоит в определении интенсивности ослабленного прямого излучения от источников и стационарного поля интенсивности однократно и многократно рассеянного излучения в рассеивающей, поглощающей и излучающей сферической оболочке (атмосфере) с отражающей и излучающей подстилающей поверхностью (суша, океан, облака) или за её пределами [2]. Такая модель описывает радиационное поле Земли как планеты с атмосферой.

Работа поддерживается грантами Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 15-01-00783, 14-01-00197) и проектом Программы фундаментальных исследований РАН (ОМН-3(3.5) ПФИ РАН).

1. Сушкевич Т.А. Осесимметричная задача о распространении излучения в сферической системе // Труды ИПМ АН СССР. О-572-66. М.: ИПМ АН СССР. 1966. 180 С.
2. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2005. 661 с.

The spectral albedo of the planet Earth as an indicator of climate evolution

T.A. Sushkevich (tamaras@keldysh.ru), S.A. Strelkov, S.V. Maksakova
Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia

Spectral observations are one of the most important sources of information in aerospace remote sensing of the Earth, studies and monitoring of the radiation balance of the Earth as a planet, astronomy and astrophysics. The measurement of the spectral albedo of the Earth as a planet in all spectral ranges from UV to millimeter radiation allows receiving the important information on properties of sources and mechanisms of their radiation and on the environment, which absorbs scatters and reflects the electromagnetic waves. In terms of the implementation of the natural observations it is an grandiose challenge for the future, as it is currently proposed that the development of the information-mathematical aspects and the scenario approach to solving the problems on the basis of the mathematical modeling on the supercomputers and the parallel supercomputing for which acceptable technical and technological means have been already created. It is important to formulate the universal system models and methods for supercomputing in the problem of the space environmental and climate monitoring and investigation of the spectral characteristics of the radiation balance and albedo of the spherical Earth model as the global characteristics of the evolution of the planet's climate.

For thousands of years humanity has studied the stars and planets of the solar system by the visual and later photographic and photoelectric observations. Only the planet Earth until the end of the 50s of the 20th century remained inaccessible. It was only possible to estimate the integral Earth radiation using the light reflected from the moon surface ("Earthshine"). In particular, such estimates based on the "Earthshine" were used for the verification of the spherical model for calculating the Earth brightness field [1]. On the basis of the model in the framework of the USSR Lunar program, the simulation of the intensity distribution of the planet Earth has been carried out under conditions close to the Earth observations onboard the returning rocket during the whole route from the moon to the near Earth space, when full disk of the Earth (or part of it) is visible.

As the development of the experience acquired in the Lunar projects the idea of a new approach to the study of the evolution of the climate of the Earth as a planet is proposed. It is based on computer modeling of the Earth spectral albedo in spherical geometry using the "scenarios" of state of the "atmosphere-the Earth's surface" system under the controlled conditions with the separation of the contributions due to the variability of the atmosphere and underlying surface that allows to estimating the influence of the different factors of the climate system. It is possible also to model the Lunar "Earthshine", which is increasingly of interest for researchers in connection with an ambiguous assessment of "warming" or "cooling" on the Earth. The problem consists in determining the intensity of the attenuated direct radiation from the sources and the stationary field intensity of the single and multiple scattered radiation in a scattering, absorbing and emitting spherical shell (the atmosphere) with a reflecting and emitting underlying surface (land, ocean,

clouds) or outside [2]. This model describes the radiation field of the Earth as a planet with an atmosphere.

This research is supported by grants from the Russian Foundation for Basic Research (projects 15-01-00783, 14-01-00197) and the project of Program of Fundamental Scientific Research RAS (FMI-3 (3.5) PFSR RAS).

1. Sushkevich T.A. Axisymmetric problem of the radiation propagation in a spherical system // *Proc. IAM AS USSR*. O-572-66. M.: IAM AS USSR. 1966. 180 p.
2. Sushkevich T.A. *Mathematical models of the radiation transfer*. M.: BINOM. Knowledge Laboratory. 2005. 661 p.

Качество данных МЦРД – основа достоверности результатов исследований радиационного климата

Цветков А.В. (tsvetkov@main.mgo.rssi.ru, wrdc@main.mgo.rssi.ru), Веремей Н.Е., Самукова Е.А., Морозова И.В., Мясников Г.Н.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, МЦРД, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

Многолетний опыт показывает, что поступающая из национальных метеослужб (НМС) информация по солнечной радиации не всегда соответствует требованиям ВМО по качеству. Ряд вопросов сбора, хранения и распространения данных в Мировом центре радиационных данных (МЦРД) напрямую связаны с предоставлением качественных данных для пользователей. В этой связи в МЦРД разработаны процедуры дополнительной проверки качества, основанные на известных физико-географических и статистических оценках, позволяющих подвергать сомнению данные наблюдений отдельных стран и отбраковывать или относить отдельные значения к сомнительным величинам. Одним из условий подготовки качественных данных для последующей архивации и представления на сайте МЦРД (http://wrdc.mgo.rssi.ru) является прохождение контроля качества с использованием всего архива данных солнечной радиации, начиная с 1964 года. Графическое представление текущих данных с подключением архивной информации (более 1500 станций мировой сети), визуализация массивов данных с последующим формированием протоколов результатов проверки качества, а также использование имеющейся базы метаданных (истории условий наблюдений на отдельных станциях) составляют основу контроля в условиях отсутствия дополнительной метеорологической информации.

В докладе представлены результаты анализа данных архива МЦРД по суммарной, прямой и рассеянной радиации, а также продолжительности солнечного сияния, использования метаданных при оценках нарушений однородности рядов, выявления сомнительных значений на различных уровнях контроля. Массивы проверенных данных с соответствующими показателями качества являются основой для дальнейших исследований радиационного баланса и получения достоверных знаний по радиационной климатологии и изменениям климата.

Data quality at WRDC – the basics of reliable results in the radiation climate studies

A.V. Tsvetkov (tsvetkov@main.mgo.rssi.ru, wrdc@main.mgo.rssi.ru), N.E. Veremey, E.A. Samukova, I.V. Morozova, G.N. Myasnikov
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, World Radiation Data Center, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

Years of experience show that the solar radiation information from national meteorological services (NMS) may not meet the WMO requirements on data quality. Many aspects of the collection, storage and dissemination of data via the World Radiation Data Centre (WRDC), are directly related to the quality of data values as an output. In this regard, WRDC developed

supplementary quality check procedures, based on well-known physical-geographical and statistical evaluation of observational data for countries which allow rejecting or referring the individual values as questionable. One of the conditions to produce data for the archiving and subsequent submission to the site WRDC (http://wrdc.mgo.rssi.ru.) is the passing of the quality control (QC) using the entire data archive of solar radiation since 1964. A graphical representation of the current data in connection with historical information (more than 1500 stations of world network), visualization of data sets with the subsequent protocols, quality test results, as well as the use of existing metadata database (history observation conditions at individual stations) are the basis of the control in the absence of ancillary meteorological information.

The report presents the results of the analysis of WRDC data archive (global, direct and diffuse radiation and also sunshine duration), the use of metadata in assessing the homogeneity violation in time series, the identification of questionable values at different levels of control. Arrays of verified data with the relevant indicators of quality are the basis for further studies of the radiation balance and for obtaining the reliable knowledge on solar radiation climatology and climate change.

Доступный потенциал солнечной радиации в республике Казахстан и возможность его использования

Полякова С.Е. (Svetlana.Polyakova@kaznu.kz), Таланов Е.А.
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, пр-т. аль-Фараби, *71, 050040* Алматы, Казахстан

Количественные характеристики всех форм преобразования солнечной энергии в атмосфере и на подстилающей поверхности изменяются во времени и формируют радиационный баланс системы Земля-атмосфера. В распределении месячных сумм прямой радиации в Казахстане прослеживается ярко выраженная зональность, при которой месячные суммы увеличиваются с севера на юг. Так, в январе суммы прямой солнечной радиации растут с севера на юг с 43 до 123 МДж/м^2, в июле – с 391 до 614 МДж/м^2, соответственно. Обращает на себя внимание увеличение сумм прямой солнечной радиации в районах Аральского моря (январь – 88, а июль – 591 МДж/м^2) и Балкаша (январь – 112, июль – 589 МДж/м^2). В целом за год сумма прямой солнечной радиации изменяется от 2528 МДж/м^2 в Рудном до 4050 МДж/м^2 в Балкаше. Аналогичная закономерность прослеживается в распределении месячных сумм суммарной радиации, в январе – от 118 до 241 МДж/м^2, в июле – от 666 до 847 МДж/м^2, в целом за год – от 4623 до 6135 МДж/м^2. Продолжительность солнечного сияния – важная гелиоэнергетическая характеристика, – колеблется от 2100 ч. на севере до 3000 ч. и более на юге.

Самые высокие показатели альбедо характерны для зимы в северной половине республики и горных районах, где они достигают 70–80% (в декабре–феврале) в связи с наличием здесь устойчивого снежного покрова. В зоне полупустынь с неустойчивым снежным покровом зимой альбедо снижается до 50–70%. Летом наименьшие величины альбедо отмечаются на крайнем севере (16–18%), в более южных районах – до 25%. Наиболее высокие значения альбедо наблюдаются летом в пустынной зоне (до 30–35%). Величина эффективного излучения увеличивается с севера на юг в связи с уменьшением влажности и облачности над пустынями от 1900 до 2700 МДж/м^2. Соотношение указанных выше потоков лучистой энергии на подстилающей поверхности характеризует радиационный баланс. В течение большей части года его величина положительна. Период с отрицательным радиационным балансом на юге продолжается 1–1.5 месяца, на севере – 3–4 месяца (декабрь–март). Годовые величины радиационного баланса увеличиваются от 1700 МДж/м^2 на севере до 2100 МДж/м^2 на юго-востоке страны.

Особый интерес представляет анализ аномалий составляющих радиационного баланса, в качестве одной из таких характеристик использовались суточные суммы прямой солнечной

радиации на горизонтальную поверхность. С этой целью проведена их объективная классификация по территории республики. В результате численных экспериментов для срединных месяцев сезонов года получено по 2–4 класса, которые отличаются пространственным распределением и интенсивностью очагов (максимума, минимума) прямой солнечной радиации. Исследованы особенности циркуляционных процессов для выделенных классов. Установлено, что каждый класс формируется определенным характером развития атмосферных процессов над атлантико-евразийским сектором северного полушария.

Результаты исследования имеют научный и практический интерес для развития и использования возобновляемых источников энергии, в частности гелиоэнергетики, на территории Республики Казахстан.

Available potential of solar radiation in the republic of Kazakhstan and the possibility of its use

S.E. Polyakova (Svetlana.Polyakova@kaznu.kz), E.A. Talanov
Al-Farabi Kazakh National University, 71 al-Farabi Ave., 050040 Almaty, Republic of Kazakhstan

Quantitative characteristics of all forms of conversion of solar energy in the atmosphere and land surface change over time and form the radiation balance of the Earth-atmosphere system. In the distribution of the monthly amount of direct radiation in Kazakhstan, a pronounced zoning observed, i.e. the monthly amount increases from north to south. So, in January the amount of direct solar radiation rises from north to south from 43 to 123 MJ/m^2, in July – from 391 to 614 MJ/m^2, respectively. Attention is drawn to the increase in the amount of direct solar radiation in the Aral Sea (January – 88 and July – 591 MJ/m^2) and Balkhash (January – 112, July – 589 MJ/m2). Over the year, the amount of direct solar radiation varies from 2,528 MJ/m^2 at Rudny to 4050 MJ/m^2 in Balkhash. A similar pattern can be seen in the distribution of monthly sums of total radiation, in January – from 118 to 241 MJ/m^2, in July – from 666 to 847 MJ/m^2, for the whole year – from 4623 to 6135 MJ/m^2. Duration of sunshine – an important characteristic of a Solar energy – ranges from 2100 hours in the north to 3000 hours or more in the south.

The highest albedos are typical for the winter in the northern half of the republic and mountain areas, where they reach 70–80% (December–February) due to the presence here of stable snow cover. In the semi-desert zone with unstable snow cover in winter albedo decreases to 50–70%. In summer the lowest albedos are observed in the far north (16–18%), in the more southern areas – up to 25%. The highest values of albedo ary observed in summer in the desert zone (30–35%). The effective radiation increases from north to south due to the decrease of humidity and clouds over the desert from 1900 to 2700 MJ/m^2. The ratio of the above flow of radiant energy on the underlying surface characterizes the radiation balance. During most of the year its value is positive. Period with a negative radiation balance in the south continues 1–1.5 months, in the north – 3–4 months (December–March). The annual values of the radiation balance increase from 1700 MJ/m^2 in the north to 2100 MJ/m^2 in the south-east of the country.

The analysis of anomalies of the radiation balance is of particular interest. Per diem amount of direct solar radiation on a horizontal surface was used as one of these characteristics. For this purpose, an objective classification of these amounts was conducted over the territory of the republic. As a result of numerical experiments, 2–4 classes differing by the spatial distribution and foci intensity (maximum, minimum) of direct solar radiation were obtained for the season middle-months. The features of the circulation processes for selected classes were studied. It has found that each class is formed by a certain character of atmospheric processes over the Atlantic-Eurasian sector of the northern hemisphere.

Results of the study are of scientific and practical interest for the development and use of renewable energy, particularly solar energy, in the territory of the Republic of Kazakhstan.

Многолетние изменения УФ радиации в области спектра **300–380** нм в Москве

Незваль Е.И. (einezval@mail.ru)
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия

Метеорологическая обсерватория Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова (МО МГУ) обладает самым длинным рядом суммарной ультрафиолетовой (УФ) радиации в области спектра 300–380 нм, насчитывающим 47 лет, начиная с 1968 года. Измерения проводились различными типами УФ приборов, которые были откалиброваны по Европейским стандартам. В настоящей работе рассматривается сезонная и межгодовая изменчивость суммарной УФ радиации 300–380 нм в Москве и ее причины за период 1968–2014 гг.

В течение года месячные суммы изменяются в среднем за весь период наблюдений от 1.5 МДж/м^2 в декабре до почти 25 МДж/м^2 в июне. Отношение рассеянной УФ радиации к суммарной изменяется от 96–99% в зимние месяцы до 78–80% в летние месяцы. Доля суммарной УФ радиации в области спектра 300–380 нм в суммарной коротковолновой радиации составляет примерно 4%, незначительно изменяясь как в течение года, так и от года к году.

Анализировалось влияние облачности, аэрозоля, альбедо поверхности на приход УФ радиации в области спектра 300–380 нм. В среднем за месяц самые низкие потери за счет облачности наблюдаются с мая по август и составляют 23–27%. Максимальные потери до 44% наблюдаются в октябре–ноябре. Изменения суммарной УФ радиации 300–380 нм за счет колебаний естественного содержания аэрозоля могут достигать 30–35% при высотах Солнца $h = 10°$ и 20–25% при $h = 55°$. Снежный покров увеличивает суммарную УФ радиацию на 8–12% при отсутствии облачности. Его роль существенно возрастает при наличии облаков.

В среднем за весь период наблюдений годовая сумма составила 145 МДж/м^2. Высокие годовые суммы УФ радиации отмечались в первые годы наблюдений, в период с середины 90-х годов до конца двадцатого столетия, в 2010, 2011 и в 2014 гг. Наибольшие положительные аномалии составили 8–10% от средней величины за весь период наблюдений. Самые низкие годовые суммы приходятся на вторую половину 70-х–начало 90-х годов и на 2008 г. Наибольшие отрицательные аномалии составили 7–9%. Основные черты изменений в приходе суммарной УФ радиации за теплый период (май–сентябрь) практически полностью повторяют характер изменений в целом за год, так как приход радиации за эти 5 месяцев составляет в среднем 71% от годовой суммы, незначительно варьируя от 66 до 74%. Для холодного периода (ноябрь–март) отклонения прихода суммарной УФ радиации за отдельные годы от средней величины могут достигать существенно больших величин: наибольшие положительные аномалии составляют 21–24%, наибольшие отрицательные аномалии – 18–22%. В целом ход многолетних изменений суммарной УФ радиации достаточно хорошо согласуется с изменениями суммарной коротковолновой радиации. Коэффициенты корреляции для года, теплого и холодного периодов составляют соответственно 0.71, 0.72 и 0.82.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 15-05-03612.

Long-term changes of UV radiation in spectral range 300–380 nm in Moscow

Ye.I. Nezval' (einezval@mail.ru)
M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia

UV monitoring at the Meteorological Observatory of Lomonosov Moscow State University (MO MSU) provides the longest UV time series (47 years) within the spectral range of 300–380 nm

since 1968 by different kinds of UV-instruments, which are calibrated against the European standards. In this presentation we discuss seasonal and interannual UV variability and its reasons during 1968–2014 in Moscow.

During the year, the monthly amounts vary on average over the entire observation period of 1.5 MJ/m^2 in December to almost 25 MJ/m^2 in June. The ratio of diffuse to global UV irradiance is analyzed for different seasons of the year: it changes from 96–99% in winter to 78–80% in summer conditions. The ratio of global UV irradiance 300–380 nm to total radiation is about 4% and does not change significantly throughout the year and over the analyzed period.

We analyze the effects of cloudiness, aerosols and surface albedo on the level of UV irradiance 300–380nm. On average, the lowest losses due to cloudiness of about 23–27% are observed from May to August. Maximum losses (up to 44%) are in October–November. Changes in the global UV irradiance due to natural fluctuations of aerosol can reach 30–35% at the solar elevation h = 10° and 20–25% at h = 55°. In cloudless conditions, the snow cover increases global UV radiation by 8–12% and its role significantly enhances in the presence of clouds.

The average annual amount is 145 MJ/m^2 over the entire observation period. The highest annual amounts were occurred in the first years of observations, and from the middle of 90s years to the end of twentieth century, as well as in 2010, 2011 and 2014 years. The biggest positive anomalies were 8–10%. The lowest annual amounts fall in the second half of 70's–early 90's years and for 2008 year. The greatest negative anomalies were 7–9%. The main features in changes of UV irradiance 300–380 nm in the warm period (May–September) are similar to changes of UV irradiance 300–380 nm in the whole year, due to the fact that in an average the level of UV irradiance 300–380 nm in the warm period represents 71% (from 66% to 74%) of the annual level of UV irradiance 300–380 nm. Deviations of amounts in the cold period (November–March) from averages in separate years can reach significant values: the biggest positive and negative anomalies were 21–24% and 18–22%, accordingly. Generally, long-term changes of UV irradiance 300–380 nm and solar global shortwave irradiance are in a good agreement: correlation coefficients are 0.71, 0.72 and 0.82 for year, for warm and cold periods, respectively.

This work was partially supported by RFBR grant № 15-05-03612.

Измерения естественной освещенности вертикальных поверхностей в МО МГУ

Шиловцева О.А. (shil_o@mail.ru), Бунина Н.А.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия

В метеорологической обсерватории МГУ с 2012 г. ведутся наблюдения за естественной освещённостью вертикальных поверхностей, что представляет немалый интерес для светотехников, архитекторов, специалистов по строительной физике и т.д. Подобные измерения служат естественным дополнением к многолетним наблюдениям за естественной освещенностью горизонтальной поверхности, которые проводятся в обсерватории уже более полувека.

Обсуждаются результаты измерений в 2014 г., полученные с помощью прибора Daylight Photometer Head Model 910GV фирмы PRC Krochman GmbH (Германия). Наблюдения проводятся в режиме непрерывного мониторинга с дискретностью 1 минута с последующим осреднением за час, сутки и т.д. Параллельно в обсерватории проводятся ежечасные наблюдения за облачностью. Получены средние оценки освещенности на вертикальные поверхности, ориентированные на север, восток, юг, запад разного временного разрешения, в разные сезоны года и при разных погодных условиях. Показано, что в ясные дни различия в освещении каждой из поверхностей велики, тогда как в пасмурные дни они минимальны. Оценено соотношение освещения на горизонтальной и каждой из вертикальных поверхностей при разных погодных условиях в течение всего года. Так, в

январе при ясном небе в середине дня освещение южной поверхности более чем в два раза превышает освещённость горизонтальной поверхности. Летом это соотношение меняется, и вертикальная южная поверхность получает в целом до двух третей от потока света на горизонтальную поверхность из-за большей высоты солнца. И в январе, и июне при безоблачном небе утром и вечером уровни освещения восточной и западной вертикальных поверхностей в 2.5–3 раза выше, чем горизонтальной. Максимум в суточном освещении северной стены приходится на ранние утренние и поздние вечерние часы, составляя 50–60% зимой и до 150% летом от горизонтальной освещенности. При пасмурной погоде освещение всех четырех стен практически одинаково, не превышая 25–50%. Результаты подобных наблюдений представляют интерес для оценки естественного освещения внутри помещения.

Measurements of natural illuminance of vertical surfaces in the Meteorological Observatory of Moscow State University

Shilovtseva O.A. (shil_o@mail.ru), Bunina N.A.
M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia

The monitoring of the natural illuminance of vertical surfaces takes place since 2012 in the Meteorological Observatory of Moscow State University. This material represents considerable interest for lighting technology, building physics, architects, etc. Such measurements are the logical addition to the long-term daylighting horizontal surface observations, which are held in the observatory for over half a century.

We represents the results of the measurements during the 2014. They are held by the Daylight Photometer Head Model 910 GV of PRC Krochman GmbH (Germany). Observations are carried out during continuous monitoring with a step of 1 minute with subsequent averaging for the hour, day, etc. Simultaneously hourly observations for the cloud cover during daylight hours are held in the Observatory. The average illuminance which coming to the vertical surfaces (north, east, south, west exposition) during the various temporal periods, during various seasons and under various weather conditions were estimated. It is shown that on a clear day the differences between lighting levels of each surface are large, while on cloudy days they are minimal. The estimation of the ratio of illuminance on horizontal and vertical surfaces under different weather conditions throughout the year was done. For example, in January, under clear sky conditions in the middle of the day the lighting level of South surface is more than twice the illuminance of horizontal surface. In summer, this ratio changes and the vertical southern surface receives 60–70% of the light flux coming on the horizontal surface due to the greater height of the sun. Both in January and June, under cloudless sky the light levels of eastern and western vertical surfaces in the morning and in the evening are in 2.5–3 times higher than the horizontal one. Maximum in the daily illuminance of the northern wall is observed in the early morning and late evening hours, equal to 50–60% in winter and up to 150% in the summer of horizontal one. In cloudy weather the light levels of all four walls are practically equal each other, and is not exceed 25–50% of the horizontal illuminance. The results of these observations may be very usefull for the evaluation of natural lighting indoors.

Первые результаты сравнительного анализа прихода суммарной солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности, рассчитанного по различным моделям и по наблюдениям в МО МГУ

Стадник В.В.[1] (sun@main.mgo.rssi.ru), Горбаренко Е.В.[2] (catgor@mail.ru),
Шиловцева О.А.[2], Задворных В.А.[2]
[1]Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия
[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия

Наблюдения, проводимые на актинометрических станциях России, относятся к горизонтальной поверхности. Для вычисления радиации, приходящей на наклонные поверхности, необходимо использовать специальные модели, позволяющие определять ее с удовлетворительной точностью. В наших исследованиях расчет суммарной радиации производился тремя способами: в предположении изотропного распределения рассеянной и отраженной радиации и с учетом анизотропности распределения рассеянной радиации по двум моделям – J.E. Hay и T.M. Klucher. Для обоснованного заключения о выборе лучшей анизотропной модели крайне необходима организация наблюдений за радиацией, поступающей на наклонные поверхности.

Начиная с августа 2014 года, в Метеорологической обсерватории МГУ впервые организованы наблюдения за суммарной радиацией, поступающей на наклонную поверхность. В качестве приёмника используется термоэлектрический прибор, принятый на сети актинометрических станций России – пиранометр М-80 Ю.Д. Янишевского, – жестко установленный под углом к горизонтальной поверхности. Угол наклона составляет 38° и является оптимальным, поскольку обеспечивает наибольший годовой приход солнечной радиации на данную поверхность (в данной географической точке). Наряду со всем актинометрическим комплексом наблюдений МО МГУ прибор подключен к системе автоматизированных измерений с дискретностью 1 мин, что дает возможность использовать информацию обо всех видах солнечной радиации, включая суммарную радиацию, поступающую на наклонную поверхность. Ценность проводимых наблюдений состоит в том, что они позволяют выполнить сравнение не только месячных значений, но и часовых при различных условиях облачности.

В работе приводятся первые результаты сравнения, позволившие даже на небольшом материале выявить некоторые особенности прихода суммарной радиации на наклонную поверхность в течение суток, которые без экспериментальных данных выявить было невозможно.

The first results of the comparative analysis of the total solar radiation income on inclined surface calculated by different models and from observations in MO MSU

V.V. Stadnik[1] (sun@main.mgo.rssi.ru), E.V. Gorbarenko[2] (catgor@mail.ru),
O.A. Shilovtseva[2], V.A. Zadvornykh[2]
[1]*A.V. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev Str., 194021 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Vorobyevi Gory, 119991 Moscow, Russia*

Observations on the actinometric network of Russia are related to horizontal surface. To calculate the radiation on inclined surfaces, it is necessary to use special models to identify it with sufficient accuracy. In our studies, the calculation of the total radiation was carried out in three ways: by assuming an isotropic distribution of diffuse and reflected radiation and taking into account the anisotropic distribution of diffuse radiation in two models – J.E. Hay and T.M. Klucher. For a valid opinion on the choice of the best anisotropic model it is essential to organize observations of the radiation income on the inclined surfaces.

Since August 2014 Meteorological Observatory of Moscow State University organized the first observation of the total radiation income on the inclined surface. Thermoelectric device, adopted on the actinometric network of Russia, – pyranometer M-80 developed by Yu.D. Yanishevsky, – rigidly mounted at an angle to the horizontal surface is used as a recever. The angle of inclination of 38° and is optimal because it provides the highest annual solar radiation income to this area (in the geographic location). Along with all actinometric complex of the MO State University, the device is connected to a system of automated measurements with the discreteness of 1 min, which enables to use the information on all kinds of solar radiation, including the total radiation income on an inclined surface. The value of conducted observations is that they allow performing the comparison of not only monthly values, but also hourly values at various conditions of cloudiness.

The paper presents the first results of the comparison, which allowed revealing some features of the total radiation income on the inclined surface during the day. It would be impossible to reveal such features without experimental data.

Мониторинг нисходящей коротковолновой радиации по данным наземных актинометрических наблюдений на территории России

Хлебникова Е.И. (khlebnikova_e@mail.ru), Салль И.А., Стадник В.В.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

В контексте проблемы глобальных климатических изменений вариация солнечной радиации, приходящей к земной поверхности, вызывает в настоящее время повышенный интерес. В последние годы появились многочисленные оригинальные публикации и обширные обзоры, в которых обсуждаются основные тенденции в изменении радиационного режима, наблюдаемые в различных регионах Земного шара, анализируются факторы влияния (облачность, аэрозоли естественного и антропогенного происхождения и др.) на обнаруживаемые долгопериодные изменения солнечной радиации, а также их возможное модулирующее воздействие на глобальное потепление.

В настоящей работе представлены количественные оценки климатических изменений солнечной радиации при реальных условиях облачности по данным наблюдений российской актинометрической сети за более чем 50-летний период. В отличие от других регионов Земного шара анализ данных наблюдений выполнялся как для суммарной, так и для прямой солнечной радиации. Рассматриваются тенденция и скорость изменения радиационных потоков, а также облачности и суточной амплитуды температуры воздуха на территории России для разных временных интервалов, начиная с 1961 г. Основное внимание уделяется особенностям изменения приходящей радиации в разных регионах России в начале 21 в. Приведенные оценки обсуждаются в контексте выявляемых климатических изменений соответствующих характеристик на глобальном уровне.

Полученные результаты дали возможность выявить как общие черты, так и особенности междесятилетних изменений приходящей солнечной радиации на территории России по сравнению с другими регионами Земного шара. Показано, что рост поступления солнечной радиации, наблюдаемый по наземным данным во многих регионах Земного шара в последнее десятилетие 20 в., с разной степенью отчетливости проявился практически на всей территории России. Изменения, происходящие в начале 21 в., не столь крупномасштабны и однозначны. На ряде станций значения стабилизировались на определенном уровне, хотя и не достигли максимальных значений, наблюдавшихся в 1960-х годах. В Европейской части России, в особенности в центральных и южных районах, сохраняется положительная тенденция, которая наблюдается и на территории зарубежной Европы. В некоторых регионах Азиатской части России возобновилась тенденция к

снижению прямой и суммарной радиации. Наиболее ярко это проявляется в Средней Сибири.

Monitoring of the downward shortwave radiation on data of ground-based actinometric observations over Russia

Elena Khlebnikova (khlebnikova_e@mail.ru), Irina Sall, Valentina Stadnik
Voeikov Main Geophysical Observatory Saint-Petersburg, 194021, Karbysheva 7

In the context of global climate change, the decadal variations of solar radiation that comes to the surface, is of growing interest now. In recent years, there have been numerous original publications and extensive reviews that discuss the main trends in the characteristics of radiation regime for different regions of the globe and analyze the factors of influence on the long-term changes of solar radiation (cloudiness, natural and antropogenic aerosols, etc.), and also their possible modulating impact on global warming.

In this paper we present quantitative estimates of climate change in solar radiation for all-sky conditions on the data of Russian actinometric network for more than 50 years. Unlike other regions of the globe, the analysis of observations was performed for both total and direct irradiance. Tendencies and the rate of change in solar radiation fluxes, as well as cloudiness and the daily temperature range, are considered for different time intervals since 1961. The main attention is given to the features in change of incoming radiation for different regions of Russia in the early 21 c. These estimates are discussed in the context of climate change in relevant characteristics at the global level.

The results gave possibility to identify common features and peculiarities of decadal changes in incoming solar radiation on the territory of Russia, as compared to other regions of the globe. It is shown that the increase in solar radiation, which was observed in many regions of the globe for the last decade of 20th century, is evident almost the entire territory of Russia, but with varying distinctness. At the beginning of the 21th century, changes are not so extensive and clear. At some stations the values have stabilized at a certain level, though not reached the maximum values which were observed in the 1960s. In the European part of Russia, especially in the central and southern regions, there is still a positive tendency, which is observed on foreign territory in Europe too. In some regions of Asian part of Russia the downward trend in direct and total radiation has renewed. It is most clearly manifested in the Middle Siberia.

Global warming potentials and radiative effects of chlorofluorocarbon (CFC) replacements, hydrofluoroethers (HFEs) and hydrofluoroolefins (HFOs)

R. Imasu[1] (imasu@aori.u-tokyo.ac.jp), L. Chen[2], M. Tamura[2], K. Tokuhashi[2], Y. Niwa[3], and B. Fomin[4]
[1]*Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba 277-8568, Japan*
[2]*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan*
[3]*Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University, Japan*
[4]*Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny, Moscow reg., Russia*

Since the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer has been ratified by most of developed countries, production of ozone depleting chemical compounds such as chlorofluorocarbons (CFCs) has been reduced and been replaced by some kinds of replacement compounds such as hydrofluorocarbons (HFCs). However, even the ozone depletion potential (ODP) of these replacement compounds are almost negligible, the global warming potential (GWP) are not negligible due to their strong absorbability of infrared radiation. In 1990s many of chemical companies have started the research and development of new replacement compounds of which both ODP and GWP are effectively small to replace HFCs with these compounds. One of the most promising candidates has been hydorofluoroethers (HFEs). Imasu et al. [1] reported the radiative

forcing and lifetimes of 21 HFEs and GWPs were evaluated in [2] based on these values. Although the infrared absorption line strengths of HFEs are somewhat larger than those of HFCs, warming potentials are far smaller than those of HFCs owing to their shorter lifetime in the atmosphere. In the study [1], the lifetimes of HFEs have been estimated by a semi-empirical method based on the highest-occupied molecular orbital (HOMO) energy. However, these values have not been validated by laboratory experiments for long time.

In this study, we update the lifetimes thereby GWPs values based on laboratory experiments evaluating reaction rates of HFEs with OH radical. Some of new values are smaller/larger by about five times and their GWPs are not so much smaller than those of HFCs. Recently, several chemical companies has been studying the potential of hydrofluoroolefins (HFOs) as another type of replacement compounds because their the utilization efficiencies of energy and cost performances are generally better than those of HFEs. The lifetimes and GWPs are evaluated to be in the order of ten days and less than 10, respectively. Their distribution areas in the atmosphere are expected to be limited around big cities because of their shorter lifetime. However, the production efficiency of tropospheric ozone and their effects to GWP values have not been studied as well as those of by-products and degradation products of HFOs. Regional scale chemical-transport models are necessary to study these effects in the urban environment and process studies on the chemical reactions in the atmosphere are also important to totally understand the climate and environmental impacts of these newly developed replacement compounds.

1. Ryoichi Imasu, Atsuo Suga, Taroh Matsuno. Radiative Effects and Halocarbon Global Warming Potentials of Replacement Compounds for Chlorofluorocarbons // *J. Met. Soc. Japan.* 1995. V. 73. № 6. P. 1123–1136.
2. WMO report. *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998.* http://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/1998/

Тенденции многолетней изменчивости солнечной радиации на территории Западной Сибири

Скляднева Т.К. (Tatyana@iao.ru), Аршинов М.Ю., Антохина О.Ю., Давыдов Д.К., Фофонов А.В.
Институт Оптики атмосферы им. В.В. Зуева СО РАН, пл. Академика Зуева *1, 634021* Томск, Россия

Сотрудниками Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН ведутся многолетние наблюдения за поступлением суммарной радиации в Томске и Томской области, а также в отдельных районах Западной Сибири. В докладе анализируется пространственно-временная изменчивость суммарной радиации на территории Западной Сибири в 1995–2014 гг. с использованием данных наземных измерений (TOR-станции ИОА СО РАН и восьми постов на территории Западной Сибири). Представлены результаты мониторинга суммарной солнечной радиации, проводимого на TOR-станции ИОА СО РАН г. Томска в 1995–2014 гг. Показано, что в Томске наблюдался устойчивый радиационный режим с аномально высоким поступлением суммарной солнечной радиации в 2003 г. Среднегодовой приход солнечной радиации за 20-летний период составил 3800.97 ± 229.48 МДж/м^2, а коэффициент вариации годовых сумм суммарной радиации равнялся 6%. Величина и диапазон колебаний месячных сумм радиации изменялись в зависимости от сезона. В весенне-летний период коэффициент вариации месячных сумм менялся от 8% до 12%, а в осенний период составил 15 17%.

Также представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости суммарной радиации на территории Западной Сибири в 2004–2014 гг. Показано, что на юге и юго-востоке Западной Сибири отмечена тенденция отрицательного тренда приходящей солнечной радиации, а в северной части – незначительный положительный тренд. На юге Западной Сибири максимальное поступление суммарной радиации зарегистрировано в июне–июле в зависимости от года измерений, а на севере – в июле. Минимальные вариации месячных сумм суммарной радиации наблюдаются в летний период (5–15%).

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН №4, программы ОНЗ РАН №5, грантов РФФИ № 14-05-00526, №14-05-00590, №14-05-93108.

Long-term trends of the solar radiation variability in West Siberia

T.K. Sklyadneva (Tatyana@iao.ru), M.Yu. Arshinov, O.Yu. Antokhina, D.K. Davydov, A.V. Fofonov

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia

The spatial and temporal variabilities of the total radiation over West Siberia are analyzed in the paper. The data on ground-based measurements of eight stations was used. Results of monitoring of the total solar radiation, carried out at the TOR-station of IAO SB RAS in 1995–2014 are presented. It is revealed that during the period the quite steady radiation regime was observed with maximum of annual incoming solar radiation in 2003. The amount and variation range of the monthly solar radiation varied depending on the season. During spring–summer period the coefficient variation of the monthly radiation varied from 8 to 12% and during autumn period from 15 to 17%.

Also results of the analysis of existential variability of the total solar radiation in West Siberia in 2004–2014 are submitted. It is shown that in the South and the southwest of West Siberia the tendency of a negative trend of coming solar radiation is noted. In the north of West Siberia trend of coming solar radiation is positive. In the south of West Siberia the maximum receipt of total radiation is registered in June–July depending on the year of measurements, and in the north – in July. The minimum variations of the monthly sums of total radiation are observed during the summer period (5–15%).

This work was supported by the Branch of Geology, Geophysics and Mining Sciences of RAS (Program No. 5), Presidium of RAS (Program No. 4), and Russian Foundation for Basic Research (grant No. 14-05-00526, 14-05-00590, 14-05-93108).

Связь межгодовой изменчивости приходящей солнечной радиации и индексов Эль-Ниньо-южное колебание

Покровский О.М. (pokrov_06@mail.ru)

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

Выявление существенных межгодовых изменений потоков приходящей КВ солнечной радиации в тропической зоне Тихого океана стало возможно благодаря реализации проекта ISCCP. Важным регулятором величин приходящей радиации является облачность, которая хорошо задокументирована в рамках указанного проекта. Важном индикатором Эль-Ниньо-южного колебания (ЭНЮК) является поле температуры поверхности океана (ТПО). Ряд индексов ЭНЮК непосредственно зависит от пространственного распределения ТПО. В ряде работ ранее уже высказывались гипотезы о возможной связи приходящей радиации и индексов ЭНЮК.

Наличие продолжительных рядов данных с месячным временным разрешением впервые позволило подтвердить наличие такой связи и получить количественные оценки. При этом нами использовался стандартный аппарат статистического анализа временных рядов, а также новые методические разработки, которые позволили выявить не только области пространственных аномалий для кросс-корреляционных функций, но также выяснить фазовые сдвиги одной переменной относительно другой.

Relationship between inter-annual variability of incoming solar radiation and ENSO indices

O.M. Pokrovsky (pokrov_06@mail.ru)
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia

Considerable inter-annual variability of incoming solar radiation in the Pacific tropical area was established due to realization of international project the ISCCP. Cloudiness amount is an important regulator of the incoming solar radiation at the earth surface. These data were well documented and archived in frame of the ICSSP. On other hand, the SST (sea surface temperature) in Pacific tropical zone is a good indicator of the ENSO indices. Some of the ENSO indices depend on the SST spatial distribution. In some previous papers the hypotesis on relationship between incoming solar radiation and ENSO indices was discussed.

Presence of long time series with monthly resolution permits us to confirm existence of these linkages and obtain quantitative estimates. Under way we used classical tool of statistical analysis, as well as a new approach to evaluate not only spatial anomaly domains for cross-correlation functions, but to reveal phase shifts of one variable with account to other in temporal area.

Уточнение параметризации **SAIL** по данным рейсов **2009–2014** в Атлантическом океане

Синицын А.В. (sinitsyn@sail.msk.ru), Гулев С.К.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр. *36, 117997* Москва, Россия

Основными отличиями представленной в 2009 году параметризации коротковолновых приходящих потоков на поверхность океана (SAIL) от существующих параметризаций были – учет морфологических особенностей различных типов облаков, состояния диска Солнца в условиях сплошной облачности, и получение отдельной параметризации коротковолновых потоков в условиях безоблачного неба для восточной тропической и экваториальной Атлантики, так называемого «моря Мрака». Хотя и изначально параметризация строилась на данных 4-х летнего эксперимента 2004–2007 по измерениям приходящей коротковолновой радиации на поверхности в различных климатических зонах Атлантического океана и имела хорошую точность в расчетах потоков, было понятно, что не все многообразие режимов облачности было охвачено. И параметризация имеет возможность улучшения. С момента представления параметризации не прекращалась работа по накоплению и обработке данных по методике, разработанной при работе над SAIL. В основу продолжения работы были положены данные, полученные в ходе рейсов на НИС ИО РАН в период с 2009 до 2014 года в различных частях Атлантики. За этот период массив данных натурных изменений приходящей коротковолновой солнечной радиации вырос почти в 3 раза, с 1500 до более 4000 среднечасовых значений на поверхности океана и соответствующих ему визуальных наблюдений за типом и баллом облачности и продолжает накапливаться.

В результате было подтверждено отличие коэффициента прозрачности атмосферы в районе «моря Мрака» для условий чистого неба. Причиной этого является вынос аэрозоля из Сахары, что существенно замутняет атмосферу. При наличии же небольшого количества облачности, такого отличия не наблюдается, и расчет потоков происходит по генеральной параметризации, в зависимости от балла облачности. Были выделены дополнительные режимы облачности в условиях сплошной облачности, что повысило качество и точность расчетов приходящих потоков. Для остальных режимов поправки эмпирических коэффициентов параметризации SAIL не превысили 0.005.

Improvement of the SAIL parametrization according the cruise 2009–2014 in the Atlantic Ocean

A. Sinitsyn (sinitsyn@sail.msk.ru), S.K. Gulev
P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovsky pr., 117997 Moscow, Russia

The main differences of the New parameterization (SAIL) for shortwave fluxes incoming to the surface of the ocean from existing parametrizations are keeping the morphological features of the different types of clouds, the state of the sun disk in overcast conditions, and obtaining a separate parameterization for clear sky condition for the eastern tropical and the equatorial Atlantic, which so-called "Sea of Darkness." Originally, the parameterization was based on the 4-year experiment of measurements in 2004–2007 of incoming shortwave radiation in different climatic zones in the Atlantic surface and had good accuracy in calculations of shortwave fluxes, and it was

clear that not all the variety of cloud were covered. And New parameterization SAIL has the ability to be improved. Since the submission of SAIL parameterization, the accumulation and processing of data by the technique developed while working on SAIL do not stop. The basis of continuation of the work is data obtained during the cruise on board of R/V Institute of Oceanology RAS in the period from 2009 to 2014 in various parts of the Atlantic. During this period, the array of field measurements of incoming shortwave solar radiation fluxes has increased almost in 3 times, from 1,500 to more than 4,000 hourly fluxes at the ocean surface and the corresponding visual observations of cloud amount and type, and continue to accumulate at the moment.

As a result, the difference in ratio of transparency of the atmosphere in the "Sea of Darkness" for clear sky conditions was confirmed. The reason for this is the coming of aerosols from the Sahara, which considerable darken the atmosphere. In the case of a small amount of clouds, this difference is not observed, and calculation of fluxes is performed using the general parameterization according to the cloud amount. We have identified additional modes of clouds in overcast conditions that improves the quality and accuracy of the calculations of incoming fluxes. For other types of regimes of cloudiness corrections for empirical coefficients for SAIL parameterization did not exceed 0.005.

Ультрафиолетовая облучённость подстилающей поверхности и регистрирующие структуры хвойных деревьев

Смирнов С.В.[1] (smirnov@imces.ru), Бондаренко С.Л.[1], Батранин А.В.[2], Стучебров С.Г.[2]
[1]Институт мониторинга климатических и экологических систем *СО* РАН, Академический пр. *10/3, 634055* Томск, Россия
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина *30, 634050* Томск, Россия

Световой режим, одной из характеристик которого является инсоляция, относится к основным климатическим абиотическим факторам роста и развития растительных сообществ. Солнечное излучение участвует в важнейших биофизических процессах, происходящих в растительности. С фотосинтезом связано излучение в диапазоне 400–700 нм, называемое фотосинтетически активным излучением (ФАИ). Излучение в диапазоне 315–400 нм (УФ-А) вместе с ФАИ участвует в фотоморфогенезе – процессе, контролирующим с помощью криптохром и фототропина, содержащихся в клетках растений, удлинение стебля, рост листьев, циркадные ритмы, цветение, направление роста органов растения в зависимости от направления падающего света. Излучение в диапазоне 280–315 нм (УФ-В) также оказывает существенное воздействие на растительность, в частности вызывая в условиях высокогорья, где более высокий уровень УФ-облучённости, увеличение плотности хвои у хвойных деревьев. Отражением биофизических процессов, происходящих в деревьях, служат регистрирующие структуры – слоистые образования в древесине – годичные кольца. Основными характеристиками годичного кольца являются его ширина и плотность. При этом если ширина кольца является интегральной характеристикой сезонного развития дерева, то плотность кольца служит дифференциальной характеристикой, подробно описывающей физиологическое состояние и развитие дерева в течение вегетационного периода. Оценить влияние УФ-излучения на плотность годичных колец живых деревьев довольно трудно в виду несовершенства имеющихся методик анализа и сложности разделения эффектов воздействия климатических, эндогенных и экзогенных факторов.

Мы предлагаем оценивать степень воздействия биологически активного УФ-излучения на плотность годичных колец путём сравнения данных измерений пространственной облучённости в видимой и ультрафиолетовой областях с данными прецизионных измерений плотности древесины в годичных кольцах деревьев, растущих в том же месте, где проводятся измерения УФ-излучения. Для сравнения были использованы данные радиационных измерений, которые проводятся в геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН с 2006 г. с помощью многоканального радиометра среднего разрешения NILU-UV-6T, и

данные томографических измерений плотности годичных кольцев в кернах древесины, выполненных в институте неразрушающего контроля ТПУ с помощью рентгеновского томографа высокого разрешения. Радиометр измеряет пространственную облучённость (или энергетическую освещённость) на длинах волн 302, 312, 320, 340, 380 и 400–700 нм ежесекундно с минутным усреднением. По этим данным затем были рассчитаны средние и максимальные значения мощности дозы и дневные суммы УФ-А/В, биологически активного (286–313 нм) и фотосинтетически активного (400–700 нм) излучений. Томограф позволяет исследовать образцы древесины объёмом в несколько кубических сантиметров с пространственным разрешением порядка 10 мкм. Керны древесины диаметром 35 мм и длиной 30 мм (без учёта толщины коры) были взяты на высоте 110–115 см с северной, восточной, южной и западной сторон средневозрастной сосны, растущей на участке леса вблизи геофизической обсерватории.

Как показал первичный анализ данных радиационных и томографических измерений, между ежедневными значениями мощности дозы УФ-В-излучения и пространственно-временной структуры плотности древесины с некоторым временным сдвигом наблюдается положительная корреляция с коэффициентами 0.4–0.6 с 95% вероятностью. Подробное описание этих результатов и результатов спектрального анализа данных измерений будет представлено в докладе.

Исследования были выполнены в рамках проекта ФНИ № VIII.77.1.1.

Ultraviolet irradiance of a surface and recording structures of coniferous trees

S.V. Smirnov[1] (smirnov@imces.ru), S.L. Bondarenko[1], A.V. Batranin[2], S.G. Stuchebrov[2]

[1]*Institute of Monitiring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academichesky Ave., 634055 Tomsk, Russia*

[2]*National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia*

A solar irradiation is the basic climatic abiotic factor of growth and evolution of the flora. A solar radiation participates in the major biophysical processes occurring in vegetation. The radiation at 400–700 nm termed by photosynthetically active radiation (PAR) determines the photosynthesis. The radiation at 315–400 nm (UV-A) together with PAR participates in the photomorphogenesis. This process controls a footstalk elongation and direction, a leaf growth, and a florescence by cryptochromes and photon-methyl tropoline containing in cells. The radiation at 280–315 nm (UV-B) also has essential influence on vegetation. For example, it increases a density of firneedles in the mountain conditions with higher level of the UV irradiance. Reflexion of the biophysical processes in trees is the recording structures termed growth rings. The main parameters of a growth ring are its width and density. Thus if the ring width is the integrated parameter of seasonal growth of a tree, the ring density is the differential parameter showing particularly a physiological state and growth rate of a tree during a vegetation period. An estimation of influence of UV radiation on density of growth rings of living trees is a difficult task, because modern procedures of classification of climatic, endogenetic and exogenetic factors have a low performance.

We propose to estimate a biologically active UV insolation on density of growth rings by comparison of the measured data of visible and UV irradiances with the data of high precision measurements of ring density using the trees growing near UV measurements. For comparison the data of UV measurements carred out at the Geophysical Observatory of IMCES SB RAS since 2006 by means of multichannel moderate resolution radiometer NILU-UV-6T and the data tomographic measurements of ring density of wood cores were done at the Institute of Non-Destructive Testing of TPU by means of a high resolution X-ray tomographic scanner were used. The radiometer measures a solar irradiance on 302, 312, 320, 340, 380, and 400–700 nm every second with minute averaging. Then using this data the average dose rates and ntegrated daily doses for UV-A/B, biologically (286–313 nm) and photosynthetically (400–700 nm) active radiations have been calculated. The tomograph allows to scan wood cores with the 10 m spatial resolution.

The wood cores (D 35 mm, L 30 mm) were taken at level of 110–115 cm in northern, east, southern and western sides of the middle age pine growing near the Geophysical Observatory.

The primary analysis shown the positive correlation (r = 0.4–0.6) between daily values of the UV irradiance and ring dencity data. More detailed analysis of measuring data will be presented in the report.

The work has been executed in frameworks of the Fundamental Scientific Researches Project VIII.77.1.1.

Результаты сопоставления спутниковых и наземных измерений **CO** и **CH_4** в фоновых и загрязненных условиях

Ракитин В.С. (vadim@ifaran.ru), Штабкин Ю.А., Еланский Н.Ф., Панкратова Н.В., Скороход А.И., Джола А.В., Гречко Е.И.

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

Собран, систематизирован и проанализирован значительный объем спутниковых и наземных данных о содержании в атмосфере CO, CO_2, CH_4 в 2010–2013 гг. Получены переходные соотношения между спутниковыми и наземными данными о содержании исследуемых примесей в разных измерительных пунктах (станции NDACC, Network for the Detection of Atmospheric Composition Change/GAW, Global Atmospheric Watch, а также станции ИФА РАН) с разным пространственным и временным разрешением.

Для фоновых условий установлена высокая корреляция среднедневных спутниковых содержаний CO, продукты AIRS v6 (R_2 = 0.48–0.96), IASI MetOp-A (R_2 = 0.25–0.86) и MOPITT v6 Joint (R_2 = 0.30–0.83) (усреднение 1°x1°) с наземными данными солнечных спектрометров. В случае высокого загрязнения слоя перемешивания отмечена значительная недооценка орбитальными сенсорами содержания CO (от 1.7 до 4.7 раз, в зависимости от сенсора, пространственного разрешения и пункта наблюдений). Репрезентативные переходные соотношения и коэффициенты корреляции ($R_2 \geq 0.5$) между среднедневными данными о CH_4 и наземными данными дифракционных спектрометров ИФА РАН и фурье-спектрометров станций GAW получены только для сенсора AIRS. Наилучшая корреляция с наземными данными по CO_2 (R_2 = 0.25) для среднедневных значений, усреднение 1°x1°) получена для сенсора IASI. Среднедневные общие содержания CH_4 сенсора IASI MetOp-A неудовлетворительно коррелируют с наземными данными, а также с данными AIRS.

Comparison of results of CO and CH_4 satellite and ground-based measurements in background and polluted conditions

V.S. Rakitin (vadim@ifaran.ru), Yu.A. Shtabkin, N.F. Elansky, N.V. Pankratova, A.I. Skorokhod, A.V. Dzhola, E.I. Grechko

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

A significant amount of satellite and ground data on the CO, CO_2, CH_4 total content in the atmosphere in 2010–2013 was collected, organized and analyzed. Transition relations between satellite and ground-based data on the content of impurities investigated in different measuring points (stations NDACC, Network for the Detection of Atmospheric Composition Change / GAW, Global Atmospheric Watch, as well as the station OIAP RAS) with different spatial and temporal resolution has obtained.

High correlation of diurnal satellite CO contents, products AIRS v6 (R_2 = 0.48–0.96), IASI MetOp-A (R_2 = 0.25–0.86) and MOPITT v6 Joint (R_2 = 0.30–0.83), averaging 1°x1° with the ground data of solar spectrometers was established for background conditions. In the case of high pollution of the mixing layer, the significant underestimation of CO total content (from 1.7 to 4.7 times, depending on the sensor, and the point of observation location) was seen. Representative transition relations and correlation coefficients ($R_2 \geq 0.5$) between the average daily data on CH_4

and ground data diffraction spectrometers IAP RAS and Fourier spectrometers GAW stations were obtained only for sensor AIRS. The best correlation with ground data on CO_2 (R_2 = 0.25) for diurnal values, averaging 1°x1°) has obtained for the sensor IASI. Diurnal CH_4 total contents of sensor IASI MetOp-A poorly correlated with ground-based data as well as data AIRS.

Изменения потоков нисходящей длинноволновой радиации и эффективного излучения подстилающей поверхности в высоких широтах

Бекряев Р.В. (bekryaev@mail.ru)
Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, *10*-я линия ВО *33*, Санкт-Петербург, Россия
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

Одной из важнейших с энергетической точки зрения компонент климатической системы высоких широт является длинноволновый радиационный баланс подстилающей поверхности. Рассматриваются изменения потоков нисходящей длинноволновой радиации и эффективного излучения за последние два десятилетия на основе данных наземных актинометрических измерений на станциях Ню Алесунд (Ny Alesund) и Баррoу (Barrow).

Показано, что исследуемый период характеризуется значительным ростом среднегодовых значений нисходящей длинноволновой радиации, достигающим ~ 5 Вт/м^2 за 10 лет. Изменения эффективного излучения подстилающей поверхности, особенно в осенне-зимние месяцы, также значительны и связаны, в основном, с частотой повторяемостью облачных и безоблачных ситуаций.

Changes in the downward and net longwave surface radiation fluxes in high latitudes

R.V. Bekryaev (bekryaev@mail.ru)
Saint Petersburg State University, Earth Science Institute, 33 10th Line VO, Saint Petersburg, Russia
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint Petersburg, Russia,

Longwave Earth surface radiation balance is one of the most important components of the climate system at high latitudes. Changes of the downward flux of longwave radiation and net longwave radiation during the last twenty years are considered on the basis of surface observation data at Ny Alesund and Barrow polar stations. Substantial increase of the annual downward flux of longwave radiation, up to ~ 5 W/m^2 per 10 years, has been demonstrated. Changes of the surface net longwave radiation are also substantial. They are associated mainly with the frequency of cloudy and clear sky conditions.

Экспериментальные исследования излучения подстилающей поверхности в ИК диапазоне

Якименко И.В., Жендарёв М.В., Гурченков Д.А., Набатчиков А.С., Мищенко А.М., Найдёнов Е.В. (nzettez@gmail.com)
Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ», Энергетический проезд *1, 214013* Смоленск, Россия

Полученные ранее статистические данные по экспериментальному исследованию закономерностей пространственно-временной структуры излучения неоднородностей подстилающей поверхности (ПП) в инфракрасном (ИК) диапазоне волн не отличаются полнотой. Такие исследования закрыты или проводились эпизодически, для отдельных типов ПП и в соответствии с методиками измерений, выбранными каждым из исследователей

исходя из решаемых задач, возможностей используемой аппаратуры, создание которой для ИК диапазона всегда вызывало значительные методические и технические трудности.

В связи с этим был создан метод проведения экспериментальных исследований распределения флуктуаций энергетической яркости излучения различных типов ПП в ИК диапазоне на длинах волн 8–13 мкм. Экспериментальные исследования состояли из измерений и обработки результатов, направленных на получение статистических закономерностей изменения пространственно-временной структуры нестационарного по пространству и времени излучения ПП и изменения их свойств в пределах мелкомасштабных фрагментов фона. Измерения распределения флюктуаций энергетической яркости излучения ПП проводились с использованием специально разработанного измерительно-вычислительного комплекса (ИВК), основным элементом которого является тепловизор с рабочим диапазоном 8–13 мкм. Измерения распределения флюктуаций энергетической яркости излучения проводились путём анализа пачек видеокадров, полученных через равные промежутки времени. Таким образом, формировались совокупности (пачки) фоновых изображений (ФИ), полученные для различных типов подстилающей поверхности в диапазоне 8–13 мкм.

Обработка результатов измерений распределения флюктуаций энергетической яркости излучения ПП в пространстве выявила новые закономерности, заключающиеся в том, что в результате происходящих термодинамических и турбулентных процессов в зависимости от метеоусловий на поверхности Земли формируются излучающие неоднородности, изменяющие свои размеры (в горизонтальном и вертикальном направлении). Закономерности пространственной изменчивости излучающих неоднородностей ПП можно описать пространственно-корреляционными функциями флюктуаций яркости излучения ПП, обладающими рядом свойств.

1. Пространственные корреляционные функции флюктуаций яркости излучения ПП имеют значимые коэффициенты пространственной корреляции между соседними строками (столбцами) ФИ.

2. Размеры излучающих неоднородностей в горизонтальном и вертикальном направлении ограничены величинами радиусов корреляции пространственных корреляционных функций флюктуаций яркости излучения ПП (между строками (столбцами) ФИ).

3. В пределах угловых размеров, ограниченных величинами радиусов корреляции (между строками (столбцами) ФИ) пространственных корреляционных функций флюктуаций яркости излучения ПП, пространственная структура излучающих неоднородностей ПП по углу места и азимуту не подвержена резким изменениям.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований распределения флюктуаций энергетической яркости излучения ПП позволили выявить новые закономерности изменения пространственно-временной структуры излучения ПП. Свойства пространственной и пространственно-временной изменчивости излучающих неоднородностей фона в дальнейшем были использованы для обоснования фонового принципа извлечения информации о присутствии точечного теплового объекта (ТТО) на ПП. В соответствии с этим принципом считается, что ТТО находятся в тех элементах ФИ, в которых наблюдаются локальные изменения выявленных свойств закономерностей изменения пространственно-временной структуры излучения ПП.

Experimental studies of the underlying surface radiation in the infrared range

I.V. Yakimenko, M.V. Zhendarev, D.A. Gurchenkov, A.S. Nabatchicov, A.M. Mishchenko, E.V. Naidyonov (nzettez@gmail.com)

Smolensk Branch of National Research University "MPEI", 1 Energetichesky pr., 214013 Smolensk, Russia

Previously obtained statistical data on an experimental study of patterns of spatial-temporal structure of radiation inhomogeneities of the underlying surface (US) in the infrared (IR) wavelength range are incomplete. Such studies are closed or were carried out sporadically for certain US types applying different methods and instruments.

In this regard, the method of experimental studies of the distribution of the radiance fluctuations for different US types in the 8–13 μm infrared wavelength range was created. The experimental studies consisted of measurements and the processing of results aimed at obtaining statistical regularities of changes in the spatio-temporal structure of the US radiation (that is non-stationary in space and time) and in their properties within small-scale background fragments. Measurements of the distribution of the US radiance fluctuations were carried out using a specially developed measuring and computing complex (MCC), the main element of which is a thermal imager with an operating range of 8 to 13 m. These measurements were carried out by analyzing the packets of video frames obtained in equal time intervals. Thus the combinations (packs) of background images (BI) obtained for different US types was formed.

The processing of results of measuring the distribution of US radiance fluctuations in space has revealed new regularities, namely – as a result of current thermodynamic and turbulent processes depending on the meteorological conditions on the Earth's surface, some emitting heterogeneities are formed capable of changing their sizes (in horizontal and vertical direction). Regularities of spatial variability of such US inhomogeneities are possible to describe by the spatial-correlation functions of US radiance fluctuations, which possess a number of properties:

1. Spatial correlation functions of US radiance fluctuations have significant coefficients of the spatial correlation between neighboring BI rows/columns.

2. Sizes of the emitting discontinuities in horizontal and vertical directions are limited by values of correlation radius of spatial correlation functions of US radiance fluctuations (between BI rows/columns).

3. Within angular dimensions limited by the values of the correlation radii (between BI rows /columns) of spatial correlation functions of US radiance fluctuations, the spatial structure of emitting US inhomogeneities in elevation and azimuth is not a subject to sharp changes.

Thus, the results of experimental studies of the distribution of fluctuations of the US radiance made it possible to reveal new regularities of changes in the spatiotemporal structure of US radiation. The properties of spatial and spatio-temporal variability of the emitting inhomogeneities of the background were used to grounding the principle of extracting the information on the presence of point thermal object (PTO) on US. It has been approved that PTO is located in those BI elements in which local changes of revealed properties of the change regularities in spatial-temporal structure of US radiation are detected.

Radiation tracers / hazards indicators

P.M. Nagorsky[1] (npm_sta@mail.ru), V.S. Yakovleva[2]

[1]*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academic pr., 634055 Tomsk, Russia*

[2]*National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia*

The level of ionizing radiation increases markedly during precipitation. This growth is due to the presence of decay daughter products (DPR) in the rain drops or snow flakes. Reliable forecasting an increase of ionizing radiation from precipitation is difficult, since the concentration of radon in the sediments of the DPR complex manner depends on the concentration of radon in the

atmosphere, the formation and transport of clouds, precipitation type [1, 2]. Processes of decay of radon and its DPR form not only γ-background, but also α- and β-background. This factor had no immediate use in the analysis of the level and variations of the component of background radiation. Flows α-particles have a very small path length in air. Flows of β-particles are capable of passing through the air away from tens of centimeters to several meters. Photon flux of γ- radiation has a high penetrating power and in the air can pass the distance of more than 1 km.

Monitoring of the level and variations of ionizing radiation in the near-surface atmosphere (α-, β-, γ-background), the main meteorological and atmospheric electrical quantities was held in IMCES SB RAS (Tomsk). The results of the monitoring data were supplemented by current data of the Hydromet and space weather. Data collected during the summer and winter storms, the passage of cyclones during heavy smoke from forest fires, in establishing and snow cover, as well as variations in the annual cycle were analyzed.

Our studies have revealed that variations of α-, γ- and β-background are not fully agreed on diurnal, and the day to day and seasonal ranges. This difference in the dynamics of α-, γ- and β-background was the basis for the study of variations of γ/α-, α/β- and α/γ- tracers representing the ratio of the measured surface atmosphere flux density of α-, γ- and β-radiation. It is shown that the proposed tracers are very sensitive indicators of non-stationary processes involving hazardous natural and man-made phenomena. This is due to the fact that atmospheric, lithosphere and technological processes lead to a qualitative change in the composition of the radionuclides in the atmosphere and, as a consequence, a change in the relationship γ/β, α/β and α/γ. In turn, the variation relations γ/β, α/β and α/γ lead to changes in the mechanisms of action of ionizing radiation on the environment. This is an important factor in determining the quality of the habitat.

Supported by the federal program, the project № 2014-14-576-0165-037.

1. Mercier J.-F., Tracy B.L., d'Amours R. et al. Increased environmental gamma-ray dose rate during precipitation: a strong correlation with contributing air mass // *J. of Env. Radioact.* 2009. V. 100. P. 527–533.
2. Firstov P.P., Yakovleva V.S., Shirokov V.A. et al. The nexus of soil radon and hydrogen dynamics and seismicity of the northern flank of the Kuril-Kamchatka subduction zone // *Ann. Geoph.* 2007. V. 50. № 4. P. 547–556.

Влияние метеорологических факторов на формирование шапки загрязнений над мегаполисом

Мельникова И.Н.[1] (irina.melnikova@pobox.spbu.ru), Самуленков Д.А.[1], Сапунов М.В.[1], Кузнецов А.Д.[2], Жданова М.[2], Денисов А.[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. *7/9*, Санкт-Петербург, Россия

[2]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

Результаты лидарного зондирования в РЦ «Обсерватория экологической безопасности» Научного парка СПбГУ в центре Санкт-Петербурга в дневное и ночное время сопоставляются с вертикальными профилями температуры, влажности, скорости ветра и давления, полученными из радиозондирования в п. Воейково. Проведен анализ влияния профилей ветра, температуры и влажности в атмосфере на свойства и динамику твердых примесей. Показано, что суточные и сезонные вариации параметров атмосферных твердых примесных частиц в шапке загрязнений над городом в большой степени определяются изменчивостью метеопараметров. Выявлены преимущественные направления и скорость распространения загрязняющих примесей на Васильевском острове Санкт-Петербурга на разных высотах. Приведены данные, свидетельствующие о влиянии атмосферных загрязнений на здоровье населения. Предлагается использовать полученные результаты лидарного зондирования для прогноза заболеваемости в городе.

Проведены измерения вертикального профиля скорости и направления ветра в центре Санкт-Петербурга в течение 2014–2015 г. Высота лазерного зондирования ветра до 12 км. Полученные результаты сравниваются с данными аэрологических измерений

Гидрометеослужбы в п. Воейково. Расстояние между пунктами измерений составляет 25 км. Сравнение проводится в предположении однородности поля ветра в таких масштабах. В большинстве случаев отмечено хорошее совпадение вертикальных профилей ветра, полученных обоими методами. Однако следует выделить несколько измерений, когда результаты резко отличаются либо на больших высотах, либо, наоборот, в приземном слое. В докладе представлены результаты сравнения и возможные объяснения выявленных различий в результатах измерений ветровых характеристик.

Авторы выражают благодарность за поддержку работы: Государственный контракт № 16.740.11.0619 от 31 мая 2011 г. «Разработка методов исследования физических процессов формирования загрязнения атмосферы дымами и смогом»; Соглашение № 14.B37.21.1528 от 01.10.2012 г. «Моделирование процессов формирования и динамики полей атмосферного аэрозоля, образовавшихся в результате лесных пожаров, для оперативного прогнозирования состояния атмосферы и изучения регионального климата»; Соглашение №14.574.21.0088 от 16.07.2014 г. (тема: "Проведение прикладных научных исследований по разработке автоматизированной информационной системы мониторинга и прогноза баланса ливневых стоков для городских систем водоотведения") в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57414X0088).

The impact of meteorological factors on forming the pollution caps above the metropolis

Irina Melnikova[1] (irina.melnikova@pobox.spbu.ru), Dmitry Samulenkov[1], Maxim Sapunov[1], Anatoly Kuznetsov[2], Maria Ghdanova[2], Alexander Denisov[2]

[1]*Saint-Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7/9, Saint-Petersburg, Russia*

[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*

The results of lidar sounding of the Resource Center "Observatory of Environmental Safety" of the St. Petersburg University Research Park in the center of St. Petersburg city in the daytime and at night are compared with vertical profiles of temperature, humidity, wind speed and pressure obtained from radiosonde in Voeikovo (St. Petersburg suburb). The analysis of the impact of wind, temperature and humidity profiles in the atmosphere on the properties and dynamics of solid impurities has been performed. It is shown that diurnal and seasonal variations of atmospheric parameters of solid impurity particles in the pollution header over the city are determined to a large extent by the variability of meteorological parameters. Preferred directions and the speed of contaminants spread on Vasilevsky Island in St. Petersburg at different heights are identified. The influence of atmospheric pollution on the health of the population is shown. It is proposed to use the results of lidar sensing to predict morbidity in the city.

The measurements of the vertical profile of velocity and wind direction in the center of St. Petersburg for 2014–2015 are fullfilled. The height of laser sounding of wind is up to 12 km. Results are compared with those of upper-air measurements of meteorological service in Voeikovo. The distance between the points of observation is 25 km. The comparison is based on the assumption of homogeneity of the wind field on such a scale. In most cases, good agreement between the observed vertical profiles of wind, obtained by both methods is appeared. However, there were several cases, when the results differ sharply or at high altitudes, or, on the contrary, in the surface layer. The report presents the results of the comparison and possible explanation of the differences found in the results of measurements of wind characteristics.

The authors are grateful for the support of work by State contract number 16.740.11.0619 of 31.05.2011 “Development of methods for studying the physical processes of the formation of atmospheric pollution by smoke and smog"; Agreement No. 14.B37.21.1528 from 01.10.2012 "Modeling of the formation and dynamics fields of atmospheric aerosol, formed as a result of forest fires, for operational forecasting of the atmosphere and study of regional climate"; Agreement No. 14.574.21.0088 from the 16.07.2014 (topic: Conducting applied research on the development of an automated information system for monitoring and forecasting the balance for urban storm water drainage systems") in the framework of

realization of the Federal target program "Research and development on priority directions of development of scientific-technological complex of Russia for 2014 - 2020" (a Unique identifier for applied scientific research (project) RFMEFI57414X0088).

Electrical processes in the surface layer during the rains of varying intensity

A.A. Kobzev, P.M. Nagorskiy (npm_sta@mail.ru), K.N. Pustovalov
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academic pr., 634055 Tomsk, Russia

The work is devoted to the study of changes in the intensity of the surface features of the electric field (*E*) and the polar electrical conductivity (λ+/-), while the precipitation in the form of a storm or heavy rains of varying intensity. The period from 26 to 27 August 2014, when in Tomsk the prolonged rainfall of varying intensity (43 mm in this period) dropped out, was chosen for the study. In the period under review there were two major cold fronts of the first kind associated with different frontal systems, and secondary cold front passing through the point of monitoring. Throughout the period considered there was the overcast (10 points), and the relative humidity does not fall below 90%. This is due to the accretion of cloud middle and upper tiers consistently passing atmospheric fronts. We used the following data measured at the Geophysical Observatory IMCES SB RAS: the basic meteorological parameters; incoming radiation in the visible and UV radiation ranges; aerosol scattering; electrical parameters of the terrestrial atmosphere (the electric field and the polar conductivity); intensity of precipitation and their microstructure (optical rain gauge). Optical precipitation gauge registers hydrometeors in size from 0.5 to 7.0 mm that allows us to define the start and end of precipitation, the amount of precipitation particles, their shape and size [1].

During the analysis of empirical data the following was revealed. When precipitation in the form of a storm and heavy rains, the anomalous behavior of the electrical conductivity of negative polarity, other than changes under the influence of "the electrode effect" characterized by an increase in its value in the form of successive burst, was observed. Instants of maximum bursts in the values of the electrical conductivity is consistent with the time of appearance of peaks in the intensity of rainfall. The values of the electrical conductivity of opposite polarity in the intervals varied slightly.

The electric change while passing clouds Cb, accompanied by heavy rainfall occurs, is different from *E* changes during the passage of clouds Cu cong and Cb (no precipitation in point monitoring) and is characterized by successive reduction of the positive values of *E* and an increase in negative values *E*, which logging intervals are in good agreement in time with the precipitation and bursts of electrical conductivity of negative polarity. The magnitude of the distortion values of electrical conductivity and the electric field strength in the case of torrential rain is greater than the Widespread, and increases with increasing the intensity and droplet size of both the analyzed sediment types. To explain the abnormal growth of the electrical conductivity of the air and the corresponding change of the field strength in times of rainfall, an additional investigation is required.

Studies on the development of optical rain gauge was supported by grants of the President of the Russian Federation (MK-3298.2015.5).

1. Kalchihin V.V, Kobzev A.A., Korol'kov V.A. Tikhomirov A.A. Electro-optical dual-channel meter precipitation // Opt. Atm. Ocean. 2011. V. 24. № 11. P. 990–996.

Комплексный анализ грозовой облачности Московского региона по данным грозопеленгационной системы **LS-8000** и доплеровских метеорологических радиолокаторов

Мозер А.Л. (mozer.arthur@me.com), Стасенко В.Н., Гиричев Д.Б, Борисов Е.Я.
НИЦ "Планета"; Б. Предтеченский пер. *7, 123242* Москва, Россия

Расширение инструментальных средств мониторинга грозовой активности делает атуальной задачу комплексирования различных источников информации с целью изучения закономерностей развития опасных явлений, сопровождающихся молниевыми разрядами.

В докладе представлены результаты комплексной обработки данных грозопеленгационной системы LS-8000 и допплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С. Приводятся результаты статистического анализа данных грозопеленгационной системы за 2014–2015 гг. для Московского региона. Предлагается метод комплексной обработки данных системы грозопеленгации и ДМРЛ-С.

Thunder clouds combined analysis for Moscow region based on lightning detection system LS-8000 and Doppler meteorological radars data

A.L. Mozer (mozer.arthur@me.com), V.N. Stasenko, D.B. Girichev, E.Ya. Borisov
State Research Centre of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

Development of the lightning activity monitoring makes it actual to combine the data from different sources in order to detect the regularities connected with the lightning discharges.

The paper presents the results of combined processing the data of the lightning detection system LS-8000 and the Doppler weather radar DMRL-C data. Results of the statistical lightning data analysis for Moscow region for 2014–2015 are presented. The combined processing method for data of the lightning detection system LS-8000 and DMRL-C is proposed.

Новое кроссплатформенное управляющее программное обеспечение для озонного спектрофотометра Брюэра

Савиных В.В. (amita@yandex.ru)
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 109017* Москва, Россия

Истощение озонового слоя Земли влечёт за собой значительное увеличение ультрафиолетовой радиации, повышенное облучение которой представляет большую потенциальную опасность для людей, животных и растений. Полностью автоматизированный озонный спектрофотометр Брюэра обеспечивает высококачественные данные общего содержания и вертикальных профилей озона, спектральной солнечной ультрафиолетовой радиации, аэрозольной оптической толщи, а также общего содержания SO_2 и NO_2. Существующее управляющее программное обеспечение для спектрофотометра Брюэра создавалось более 30 лет назад для персональных компьютеров с операционной системой MS-DOS и имеет плохую совместимость с современными программными и аппаратными платформами. В частности, оно не запускается на наиболее распространённых 64-разрядных версиях Windows и пытается использовать все ресурсы центрального процессора компьютера (или одного из его ядер) с 32-разрядной Windows, не выполняя при этом никакой полезной работы.

Новое кроссплатформенное управляющее программное обеспечение для спектрофотометра Брюэра разрабатывается в ИФА им. А.М. Обухова РАН. Данное программное обеспечение способно работать на большинстве современных операционных систем для персональных компьютеров (Windows, Linux, Mac OS X), планшетов и смартфонов (Android, iOS, Windows RT) и одновременно имеет единую кодовую базу. Чтобы получить приложение для Linux или Mac OS X не нужно вносить какие-либо изменения в его

исходный код, а достаточно использовать соответствующие целевой платформе инструменты сборки. Данные наблюдений и все конфигурационные константы спектрофотометра сохраняются в компактной встраиваемой реляционной базе данных SQLite. Ядро приложения и интерфейс пользователя разрабатываются на языке программирования C++ с использованием кроссплатформенного фреймворка Qt. Процедуры наблюдений и калибровочные тесты будут реализованы на интерпретируемом языке сценариев Qt Script, основанном на языке JavaScript, и затем интегрированы в ядро приложения.

Приложение имеет минималистичный графический интерфейс пользователя, включает в себя подсистемы ввода/вывода и обработки ошибок, а также модуль связи с прибором через интерфейс COM-порта. Проверка получаемых данных измерений производится на уровне разработанной схемы базы данных посредством механизмов ограничений и ссылочной целостности, встроенных в процессор базы данных. При старте приложение выполняет программную инициализацию, запрашивая конфигурационную информацию из соответствующих таблиц базы данных и сохраняя её в своих внутренних динамических структурах. На основе полученной конфигурационной информации приложение производит аппаратную инициализацию спектрофотометра посредством передачи набора команд внутреннему компьютеру Брюэра через интерфейс COM-порта. В текущей реализации новое программное обеспечение для озонного спектрофотометра Брюэра выполняет основные внутренние калибровочные тесты прибора, а также проводит измерения общего содержания озона и ультрафиолетовой радиации.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (проект №14-07-00838).

New cross-platform control software for Brewer ozone spectrophotometer

V.V. Savinykh (amita@yandex.ru)
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

The depletion of the Earth ozone layer involves the significant increase in ultraviolet radiation; its increased exposure constitutes a great potential danger to people, animals and plants. The completely automated Brewer Ozone Spectrophotometer provides high-quality total ozone column data, ozone vertical profiles, spectral solar ultraviolet radiation, aerosol optical depth as well as columns of sulfur dioxide and nitrogen dioxide. The existing control software for the Brewer Spectrophotometer was created more than 30 years ago for personal computers with the MS-DOS operating system, and it has a poor compatibility with modern software and hardware platforms. In particular, it does not run on the most widespread 64-bit versions of Windows and attempts to use all resources of the central processor of the computer (or one of its cores) with 32-bit Windows without performing some useful working.

The new cross-platform control software for Brewer Spectrophotometer is being developed at the A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences. This software is capable to operate at the most actual operating systems for personal computers (Windows, Linux, and Mac OS X), tablets and smartphones (Android, iOS, and Windows RT), and at the same time has the one code base. To receive the application for Linux or Mac OS X it is not necessary to make any changes in its source code, and it is enough to use the appropriate target platform build tools. Observations data and all configuration constants are stored in the compact embedded relational SQLite database. The application engine and the user interface are being developed in the C++ programming language with use of the cross-platform Qt framework. The observations routines and the calibration tests will be implemented in the interpreted scripting language of Qt Script based on the JavaScript language, and then will be integrated into the application engine.

The application has a minimalistic graphical user interface, includes subsystems of input-output and error handling as well as the module of communication with the instrument via the interface of COM port. Verification of the obtained measurement data is performed at the level of

the developed database scheme by means of the mechanisms of constraints and reference integrity built into database engine. When starting, the application executes a software initialization, requesting the configuration information from the appropriate database tables and saving it in its internal dynamic structures. Based on the obtained configuration information, the application performs the hardware initialization of the spectrophotometer by means of transmission of commands set to the internal computer of Brewer via the interface of COM port. In the current implementation, the new software for Brewer Ozone Spectrophotometer executes the main internal calibration tests of the instrument, and takes measurements of total ozone column and ultraviolet radiation.

The work is performed under support of RFBR (grant 14-07-00838).

Установка оценки полного балла облачности: новое оборудование, новые алгоритмы, повышенная точность и новые задачи

Криницкий М.А. (krinitsky@sail.msk.ru), Синицын А.В.
Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр. *36, 117997* Москва, Россия

Приходящая коротковолновая солнечная радиация в настоящий момент является основным источником энергии для подавляющего большинства динамических процессов в атмосфере и океане. Основным фактором, регулирующим коротковолновую радиацию, приходящую на поверхность океана и суши, в настоящее время является облачное покрытие. Установки и алгоритмы оценки полного балла облачности не новы: первые серийные образцы так называемых cloud-камер начали широко использоваться еще в конце 1990-х. Однако до сих пор все присутствующие на рынке решения обладали существенными недостатками. Среди наиболее критичных – сложность конструкции, необходимость использования трекера солнца и существенные изъяны в используемых алгоритмах оценки, порой приводящие к ошибкам до 2–4 баллов.

Мы представим новое поколение cloud-камер, в которых нам удалось справиться с большинством упомянутых проблем. Мы продемонстрируем новое поколение алгоритма оценки полного балла облачности по широкоугольным снимкам видимой полусферы неба. Прежде всего, мы опишем новый синтетический контрольный индекс, лежащий в базе нашего алгоритма. Мы называем его «Индексом степени серости». Мы покажем, как применение этого индекса позволило нам значительно повысить надежность определения тонкой облачности, что сильно отличает наш алгоритм от массы повсеместно используемых. Кроме этого, мы продемонстрируем уникальную технику определения и подавления влияния фоновой солнечной засветки, которая позволяет нам повысить надежность определения оптически слабо выраженной облачности и отделения ее изображения от фоновых эффектов рассеяния солнечного света в атмосфере. Мы покажем, что упомянутые особенности нашего нового алгоритма оценки общего балла облачности позволяют нам значительно повысить точность оценки и прийти к отклонениям, в среднем не превышающим 5% от показаний наблюдателя. Мы покажем также, что применение этого уникального алгоритма оценки общего балла облачности позволяет нам избавиться от трекера солнца. В результате наша cloud-камера значительно компактнее, чем используемые аналоги, не имеет выступающих или движущихся частей, и за счет исполнения в пыле- и водонепроницаемом корпусе применима в широком спектре неблагоприятных для оборудования условиях, включая монтаж на исследовательских судах.

Мы также продемонстрируем программную часть комплекса, разработанную в нашей лаборатории. Программное обеспечение установки позволяет значительно увеличить разрешение производимых наблюдений во времени. Нижний предел периода в настоящее время ограничен лишь скоростью передачи снимков и не превышает 1 с. При этом аппаратная часть cloud-камеры предоставляет гораздо большие возможности, чем применяемые аналоги, за счет использования камер высокой четкости с разрешением до

1920 x 1920px. Наша cloud-камера нового поколения уже была испытана в полевых условиях на научно-исследовательском судне «Академик Иоффе» в рейсе в октбяре 2014 г. и показала полную пригодность к полевым измерениям. Мы продемонстрируем наиболее наглядные результаты работы в этом рейсе и сформулируем наиболее очевидные задачи, стоящие перед нами в рамках развития комплекса.

Cloud cover estimation optical package: new facility, new algorithms, enhanced accuracy and new challenges

Mikhail Krinitskiy (krinitsky@sail.msk.ru), Alexey Sinitsyn
P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovski pr., 117997 Moscow, Russia

Short-wave radiation is one of the most important surface fluxes over sea and land. It is the main energy source for most dynamic processes of sea and air. Cloud cover is a critical parameter for its accurate estimation. For now, not packages or algorithms of total cloud cover estimation are new: first production cloud cameras are known since end of 1990th. However, most of them have significant disadvantages. Those are the design complexity, the necessity of solar tracking usage and significant algorithms inaccuracy leading to 2–4 class uncertainties of cloud cover estimation.

We now present the new generation of cloud cover estimation optical package, with which we have avoided most of mentioned disadvantages. We will demonstrate the new generation of cloud cover estimation algorithm. Firstly we will introduce the new synthetic control index that we use in our algorithm. We call it “grayness index”. We will demonstrate the way this index lets us enhance the reliability of thin clouds detection compared to a set of most used algorithms. In addition we will show the unique technique of background sunburn effect detection and suppression. This technique lets us enhance the reliability of optically weak clouds detection and its discrimination of background sun light diffusion and scattering effects. We will demonstrate that mentioned features of our algorithm lets us significantly increase the accuracy of cloud cover estimation and leads us to the deviations less than 5% of observed results. We will demonstrate the way this algorithm lets us modify the design of the optical sensing package and make away with the solar tracking mechanisms. This leads the design of our cloud camera to be more compact. It is now designed without any protrusive parts. It is assembled with the IP-67 class of water- and dustproof, and thus may be used in adverse environmental conditions including sea vessels.

We will also demonstrate the software of the package that has been developed in our laboratory. This software lets us significantly increase the time resolution of cloud observations. The lowest period value is only limited by the image transmitting rate and now is less than 1 s. At the same time the hardware part of the package provides much more flexibility while we use the high definition cameras with the 1920x1920px resolution. Our new generation cloud-camera has been already tested on board of the research vessel “Akademik Ioffe” during the mission in October`2014. It has shown the usability in the sea mission usage conditions. We will demonstrate most illustrative results from this mission and will state the most obvious problems we have faced.

Evaluation of the direct and indirect assimilation of radar reflectivity using the WRFDA 3D-Var

Eder Paulo Vendrasco and Dirceu Luís Herdies (dirceu.herdies@cptec.inpe.br)
National Institute for Space Research (INPE), Cachoeira Paulista, Sao Paulo, Brazil

It is known that developments have being made in the concern of radar data assimilation and many studiespoint out some improvements on the quantitative precipitation forecast. However, it is not clear whether the most common way of assimilating reflectivity, i.e., directly as a control variable, is the best choice. We have made experiments using the Weather Research Forecasting model three-dimensional data assimilation system (WRFDA 3D-Var) over Brazil and we have found that the improvement achieved when using the direct assimilation is short-lived. Besides that,

there are some works which point out this problem and suggest that the best way of assimilating the reflectivity is indirectly through the assimilation of rain water mixing ratio obtained from reflectivity. It would avoid problems related to the linearization of the reflectivity-rainwater mixing ratio relationship (Z-q_r) that is needed in the incremental formulation used in WRFDA 3D-Var.

Therefore, the aim of this work was to perform experiments over a specific region in Brazil to evaluate whether the indirect assimilation of reflectivity out perform the results obtained using the direct assimilation. It was chosen six cases of precipitation and 3 experiments for each case were performed. The three experiments were: i) a control without any radar data assimilation; ii) using direct assimilation and; iii) indirect assimilation of reflectivity. Radial velocity was assimilated in both cases. The Fractional Skill Score (FSS) and the Root Mean Square Error (RMSE) were used to compare quantitatively the performance of each experiment against observations. The results have shown that the indirect assimilation can produce better QPF than the one where reflectivity is assimilated directly and the improvement tends to last longer.

Исследование изменчивости атмосферной турбулентности в районе озера Байкал

Копылов Е.А.[1] (evgen704@iao.ru), Лукин В.П.[1], Ковадло П.Г.[2], Шиховцев А.Ю.[2]
[1]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, *634021* Томск, Россия
[2]Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова *126*а, *664033* Иркутск, Россия

Приведены оценки кинетической энергии турбулентности в различные сезоны по данным микрометеорологических измерений в приземном слое атмосферы в районе п. Листвянка.

Исследованы спектры неоднородностей скорости ветра и температуры при измерениях радиуса когерентности атмосферы. Рассмотрено, какая доля кинетической энергии преобразуется в турбулентную, как меняется данное соотношение в году. Проанализирована связь интегральных турбулентных характеристик с формой спектров атмосферных неоднородностей. Проведено сравнение условий астрономического видения в зимнее и в летнее время.

Работа выполнена при частичной поддержке фонда "Династия".

The study of variability of the atmospheric turbulence in the region of Lake Baikal

E.A. Kopylov[1] (evgen704@iao.ru), V.P. Lukin[1], P.G. Kovadlo[2], A.Yu. Shihovcev[2]
[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*
[2]*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126 Lermontov str., 664033 Irkutsk, RussiaIrkutsk, Russia*

Estimates of the kinetic energy of the turbulence in different seasons according to the micrometeorological measurements in the atmospheric surface layer in the area of p. Listvyanka are given.

The spectra of inhomogeneities in the wind speed and temperature in measurements of the atmospheric coherence radius have been studied. It is estimated, what fraction of kinetic energy converts in turbulent one, and as this ratio changes in a year. The connection between the integral turbulence characteristics and the shape of the spectra of atmospheric inhomogeneities is analyzed. Conditions of the astronomical vision in winter and in summer are compared.

The work is executed at partial support of the Dynasty Foundation.

Изменчивость концентрации окиси и двуокиси углерода в нижнем 300-метровом слое атмосферы (станция мониторинга Обнинск)

Каменоградский Н.Е. (nikita@rpatyphoon.ru), Акименко Р.М., Баранова Е.Л., Бугрим Г.И., Кашин Ф.В.
НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Калужская обл., Россия

Приведены результаты двухлетнего (2013–2014 гг.) цикла измерений концентраций окиси и двуокиси углерода (CO, CO_2) в пробах воздуха, отобранных на высотах 25, 100, 200 и 300 м с 300-метровой Высотной метеорологической мачты (55 06'41" N, 36 56'42" E). Описания аппаратуры и методики лабораторных измерений концентраций CO и CO_2 в пробах воздуха были приведены в [1, 2]. Погрешности единичных измерений концентраций: ± 3 ppb для CO и ± 1 ppm для CO_2. По полученным данным для каждой высоты рассчитывались среднемесячные концентрации CO (C_{CO}) и CO_2 (C_{CO2}) и определялись сезонные изменения этих величин в 2013 и 2014 гг.

В 2013 году минимальные величины C_{CO} на 25, 100, 200 и 300 м приходились на июнь (132, 129, 132, 133 ppb), а максимальные величины – на январь (304, 274, 255, 256 ppb) и февраль (289, 268, 257, 247 ppb). В 2014 году минимальные величины C_{CO} приходились на июнь (141, 135, 124, 125 ppb) и июль (414, 413, 412, 412 ppm); а максимальные величины C_{CO}, так же как и в предшествующем году, относились к январю (584, 309, 290, 452 ppb) и февралю (320, 311, 279, 239 ppb). Выделяющийся вертикальный профиль C_{CO} в январе 2014 года сформирован под влиянием местных наземных источников CO.

В 2013 году минимальные величины C_{CO2} на 25, 100, 200 и 300 м наблюдались в августе (392, 392, 393, 392 ppm), а максимальные величины C_{CO2} на разных высотах – в феврале (421, 418, 449 и 418 ppm), марте (417, 417, 419 и 436 ppm) и декабре (444, 422, 424 и 422 ppm). В 2014 году величины C_{CO2} были больше, чем в 2013 году. В 2014 году минимальные величины C_{CO2} наблюдались на разных высотах в июне (410, 413, 414, 417 ppm) и в июле (414, 413, 412, 412 ppm), а максимальные величины C_{CO2} и тоже на разных высотах – в октябре (453, 452, 447, 441 ppm) и в ноябре (458, 449, 443, 450 ppm). Значительные увеличения C_{CO2} в феврале и марте 2013 года на высотах 200 и 300 м связаны с изменениями синоптических условий в этот период года, а увеличение C_{CO2} на высоте 25 м в декабре 2013 года и в октябре–ноябре 2014 года создано местными наземными источниками CO_2 .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 14-45-03-022).

1. Кашин Ф.В., Акименко Р.М., Арефьев В.Н. и др. Окись углерода в приземном воздухе (станция мониторинга Обнинск) //Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 1. С. 33–39.
2. Арефьев В.Н., Каменоградский Н. Е., Кашин Ф.В., Шилкин А.В. Фоновая составляющая концентрации двуокиси углерода в приземном воздухе (станция мониторинга «Обнинск») // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 6, С. 655–662.

Variability of carbon monoxide and dioxide concentrations in the lower 300 m atmospheric layer (Obninsk monitoring station)

N.Ye. Kamenogradsky (nikita@rpatyphoon.ru), R.M. Akimenko, E.L. Baranova, G.I. Bugrim, F.V. Kashin
Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia

Results of the two-year (2013–2014) measurements of carbon monoxide and dioxide (CO and CO_2) concentrations in air samples taken at the heights of 25, 100, 200 and 300 m from the 300-m High Meteorological Mast (55 06'41" N, 36 56'42" E) are presented. The instrumentation and methods used in laboratory measurements of CO and CO_2 concentrations in air samples were described in [1, 2]. The errors of single measurements of concentrations: ± 3 ppb for CO and ± 1 ppm for CO_2. Mean monthly concentrations of CO (C_{CO}) and CO_2 (C_{CO2}) were calculated for every height, and seasonal variations of these values for 2013 and 2014 were determined.

In 2013, minimal values of C_{CO} were registered at 25, 100, 200 and 300 m in June (132, 129, 132, 133 ppb), and maximal values – in January (304, 274, 255, 256 ppb) and February (289, 268, 257, 247 ppb). In 2014 minimal values of C_{CO} were in June (141, 135, 124, 125 ppb) and July (414, 413, 412, 412 ppm). Maximal values of C_{CO}, as in the previous year, were in January (584, 309, 290, 452 ppb) and February (320, 311, 279, 239 ppb). A clearly defined vertical profile of C_{CO} in January 2014 was formed under the influence of local ground-based sources of CO.

In 2013, minimal values of C_{CO2} at 25, 100, 200 and 300 m were measured in August (392, 392, 393, 392 ppm), and maximal values (at different levels) – in February (421, 418, 449 and 418 ppm), in March (417, 417, 419 and 436 ppm) and December (444, 422, 424 and 422 ppm). In 2014 the values of C_{CO2} were higher than in 2013. In 2014, minimal values of C_{CO2} were registered at different heights in June (410, 413, 414, 417 ppm) and in July (414, 413, 412, 412 ppm). Maximal C_{CO2} values also at different heights were in October (453, 452, 447, 441 ppm) and in November (458, 449, 443, 450 ppm). A considerable growth of C_{CO2} in February and March 2013 at the heights of 200 and 300 m was connected with the change of synoptic conditions in this period, and the increase of C_{CO2} at the height of 25 m in December 2013 and in October–November 2014 was created by local ground-based sources of CO_2.

The work was made under the financial support of Russian Foundation for Basic Research (Project RFFI No. 14-45-03-022).

1. Kashin F.V., Akimenko R.M., Aref'ev V.N. et al. Carbon monoxide in the surface air (Obninsk monitoring station) // *Izv. Atm. Oceanic Physics.* 2010. V. 46. № 1. P. 45–54.
2. Aref'ev V.N., Kamenogradsky N.Ye., Kashin F.V., Shilkin A.V. Background component of carbon dioxide concentration in the near-surface air // *Izv. Atm. Oceanic Physics*. 2014. V. 50. № 6. P. 576–582.

Analysis of the observations of CO_2 concentrations in the ambient air at the Peterhof station

Stephany Foka (stesy16@mail.ru), Maria Makarova, Anatoly Poberovskii
Saint-Petersburg State University, Physics Dept., 1 Ulianovskaya st., 198510 Saint-Petersburg, Russia

Carbon dioxide (CO_2) is an important long-lived greenhouse gas in the Earth's atmosphere. Since pre-industrial period CO_2 concentrations in the atmosphere have risen by over 30%. Ground-based observational networks, aircraft campaigns, satellite experiments together with the powerful tools of atmospheric modeling are focused on the investigations of past, present and future of CO_2 in the atmosphere. The Peterhof station (SPbU) of atmospheric monitoring is located in the building of Institute of Physics, 35 km to the west from the city center. High accuracy measurements of CO_2 concentrations in the ambient air are being carried out by Los Gatos Research Greenhouse Gas Analyzer 24r-EP from 2013.

The main targets of this study are as follows:

to estimate temporal variations of CO_2 concentration for the Peterhof station;

to compare our results with independent measurements and modeling results;

to indicate reasons which could be responsible for the variations of CO_2.

Analysis of CO_2 concentrations for 2013 revealed pronounced annual cycle of CO_2 with the amplitude of 2.5% (from the average CO_2 level of 403 ppm). The range of CO_2 monthly means (391–408 ppm) for Peterhof agrees with the WMO (World Meteorological Organization) reference levels of CO_2 (360–450 ppm) for the unpolluted air. It has also shown that CO_2 concentrations at the Peterhof station have diurnal variations with amplitude that varies from 1% in December up to 6% in June. The analysis of our CO_2 data in comparison with CO_2 measurements at two high latitude stations Teriberka and Tiksi demonstrates that both, annual and diurnal cycles of CO_2 are controlled by following main factors: geographical location, climate, atmospheric transport (intensity of vertical transport in the troposphere), natural (respiration processes) and anthropogenic (fossil fuel combustion) sources of CO_2, and CO_2 sinks (photosynthesis process).

Analysis of CO_2 variations for the February of 2013 together with the results of HYSPLIT model and meteorological data shows that the highest values of CO_2 (up to 470 ppm) were

registered at the Peterhof station for calm conditions, which were enhanced by the presence of temperature inversions (the case of the intensive accumulation of anthropogenic emissions in the boundary layer).

Investigations were supported by Russian Science Foundation (grant №14-17-00096). Authors thank Geomodel Research Center (SPbU) for providing the observational facilities.

Бортовой актинометрический аппаратно-программный комплекс на самолёте-лаборатории ЯК-42Д «РОСГИДРОМЕТ»

Колокутин Г.Э. (gregorylost@yandex.ru), Фомин Б.А.
Центральная аэрологическая обсерватория, ул. Первомайская *3, 141700* Долгопрудный Моск. обл., Россия

Бортовой аппаратно-программный комплекс в составе самолета-лаборатории ЯК-42Д был разработан для измерений радиационного баланса атмосферы и дистанционных исследований подстилающей поверхности и облачности. Его основу составляют следующие измерительные приборы фирмы Kipp&Zonen: пиранометры CMP-22 (для измерения потоков нисходящей и восходящей солнечной радиации), пиргеометры CGR-4 (для измерения потоков нисходящей и восходящей тепловой радиации) и ультрафиолетометр UVS-AB-T (для измерения потоков нисходящей УФ радиации в диапазонах А и В).

В докладе особое внимание уделяется программам обработки локальных актинометрических измерений с целью валидации аппаратуры и получения информации об атмосфере и поверхности (пока в безоблачных условиях). Также рассмотрены некоторые экспериментальные данные, полученные в ходе полётов над европейской и арктической областями РФ.

Onboard actinometrical hardware-software complex for aircraft-laboratory YAK-42D «ROSHYDROMET».

G.E. Kolokutin (gregorylost@yandex.ru), B.A. Fomin
Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny, Moscow reg., Russia

The actinometrical hardware-software complex onboard of the Yak-42D aircraft-laboratory has been developed for measurements of the atmospheric radiation balance and remote investigations of the underlying surface and cloudiness. It contains several instruments made by Kipp&Zonen firm: pyranometers CMP-22 (for measurements of the upward and downward solar fluxes), pyrgeometers CGR-4 (for measurements of the upward and downward thermal fluxes) as well as the UVS-AB-T sensor (for measurements of the downward UV flux).

The report will be focused on the software for the data processing of the local actinometrical measurements for the instruments validation and to obtain the information about an atmosphere and surface (at present for the clear-sky conditions). Also will be discussed some experimental data, which have been obtained due to several flights above European and Arctic Russian regions.

Фоновая составляющая концентрации метана в приземном воздухе (станция мониторинга «ОБНИНСК»

Сизов Н.И. (las@rpatyphoon.ru), Арефьев В.Н., Акименко Р.М., Кашин Ф.В., Упэнэк Л.Б.
НПО ”Тайфун”, ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Калужская обл., Россия

Представлены данные измерений с февраля 1998 по январь 2014 г. объемной концентрации метана в пробах приземного воздуха методом Фурье-спектроскопии [1–2]. При исключении результатов единичных измерений повышенных концентраций метана,

возникающих при температурной инверсии и при пожарах, проведено разделение средних месячных концентраций на региональную естественную фоновую концентрацию метана и его антропогенную добавку. Из фоновой выделена сезонная концентрация.

Анализ показал, что максимумы (февраль) и минимумы (июль) сезонных вариаций CH_4 типичны для средних широт северного полушария с амплитудой колебаний (120.4 ± 36.3) млрд$^{-1}$. Спектральный анализ выявил большое количество составных колебаний вариаций фоновой концентрации метана с периодами от 3 до 126 месяцев. Эмпирическая модель с использованием подгоночных параметров этих колебаний описывает среднегодовые временные изменения концентрации метана с погрешностью менее 3%. Антропогенная добавка CH_4 в атмосферу имеет в основном случайный характер. За 16 лет наблюдений ее рост составил ~ 23.7 млрд$^{-1}$, что привело к увеличению общей концентрации CH_4 на ту же величину.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 14-05-00113).

1. Baranov Yu.I., Baranova E.L., Bougrim G.I., Kashin F.V. Temporal variability of methane, carbon oxide and dioxide and dinitrogen oxide in surface air // *Proc. SPIE*. 2000. V. 4341. P. 438–442.
2. Арефьев В.Н., Баранов Ю.И., Баранова Е.Л. и др. Изменчивость содержания метана в приземном слое и в толще атмосферы // Изв. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40. № 3. С. 403–409.

Background component of methane concentration in surface air (Obninsk monitoring station)

N.I. Sizov (las@rpatyphoon.ru), V.N. Aref'ev, R.M. Akimenko, F.V. Kashin, L.B. Upenek
Research and Production Association 'Typhoon", 4 Pobedy str., 249038 Obninsk, Kaluga Region, Russia

The measurement data (from February 1998 to January 2014) of volumetric methane concentrations in air samples taken near the ground by the Fourier spectroscopy method are presented. After the exclusion of the results of single measurements of increased methane concentrations appearing due to a temperature inversion and wood fires, a separation of mean monthly concentrations into a regional natural background methane concentration and its anthropogenic addition is made. The seasonal concentration is separated from the background one.

The analysis has shown that maximal (February) and minimal (July) seasonal CH_4 variations are typical for middle latitudes of the Northern Hemisphere with the fluctuation amplitude (120.4 ± 36.3) ppb. The spectral analysis revealed a great number of components in methane background concentration variations with the periods from 3 to 126 months. The empirical model with the adjustment parameters of these variations describes the mean annual changes of methane concentrations with an error less than 3%. An anthropogenic addition of CH_4 into the atmosphere is of a random character. During 16 years of observations its growth made ~ 23.7 ppb that resulted in a growth of the total CH_4 concentration by the same value.

The work was made under the financial support of Russian Foundation for Basic Research (Project RFFI No. 14-05-00113).

1. Baranov Yu.I., Baranova E.L., Bougrim G.I., Kashin F.V. Temporal variability of methane, carbon oxide and dioxide and dinitrogen oxide in surface air // *Proc. SPIE*. 2000. V. 4341. P. 438–442.
2. Aref'ev V.H., Baranov Yu.I., Baranova E.L. et al. Variability of methane content in the atmospheric surface layer and in the atmospheric column // Izv. Atm. Oceanic Physics. 2004. V. 40. № 3. P. 356–362.

Анализ временной изменчивости концентрации метана в атмосфере в районе Санкт-Петербурга по данным наземных наблюдений

Арабаджян Д.К.[1] (dina_ar@rambler.ru), Парамонова Н.Н.[2], Макарова М.В.[1], Тимофеев Ю.М.[1], Поберовский А.В.[1]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

[2]Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

В СПбГУ на измерительной станции Петергоф (около 35 км к западу от центра Санкт-Петербурга) с 2013 г. ведутся измерения приземной концентрации метана с помощью газоанализатора LGR Greenhouse Gas Analyzer (GGA-24r-EP). В работе представлен анализ рядов наблюдений с января 2013 по декабрь 2014 г. Средние суточные вариации концентрации CH_4, построенные для каждого месяца, показали, что максимальная амплитуда суточного хода достигалась в июле 2013 г. (213.62 ppbv), минимальная – в декабре 2014 г. (12.81 ppbv). Анализ годовых изменений регионального фона концентрации CH_4 за 2013 и 2014 гг. показал, что для обоих годов измерений наблюдается хорошее согласие как характера годового хода, так и его амплитуды (~ 2.3%).

Сравнение с данными независимых измерений концентрации CH_4 показало, что данные станции Петергоф лежат в интервале ± 20 ppbv относительно ближайших измерительных станций сети ВМО (Всемирная Метеорологическая Организация). Сравнение с результатами измерений концентрации CH_4 на станции ГГО им. Воейкова, расположенной восточнее Санкт-Петербурга в пос. Воейково, выявило, что наибольшее рассогласование (~ 50 ppbv) между станциями в 2013 г. наблюдалось в осенне-зимний период.

Исследования выполнены при финансировании Российского научного фонда (грант № 14-17-00096). Измерения проведены на оборудовании Ресурсного центра СПбГУ "Геомодель".

Analysis of the temporal variability of the methane concentration in the atmosphere at St. Petersburg using ground-based observations

D.K. Arabadjan[1] (dina_ar@rambler.ru), N.N. Paramonova[2], M.V. Makarova[1], Yu.M. Timofeyev[1], A.V. Poberovskii[1]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

[2]*A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev Str., 194021 Saint-Petersburg, Russia*

At the atmospheric monitoring station of St. Petersburg State University (Peterhof, about 35 km to the west from the center of St. Petersburg) in-situ measurements of methane mole fractions in the ambient air are being carried out from 2013 using gas analyzer LGR Greenhouse Gas Analyzer (GGA-24r-EP). This paper presents the analysis of time series of CH_4 observations from January 2013 to December 2014. Analysis of monthly mean diurnal variations of the CH_4 mole fraction showed that the maximum amplitude of the diurnal cycle was observed in July 2013 (213.62 ppbv), the minimum – in December 2014 (12.81 ppbv). Annual cycles of the regional background of CH_4 mole fraction revealed for 2013 and 2014 are similar in character and amplitude (~ 2.3%).

Comparison with independent measurements showed that CH_4 mole fractions which have been observed at the Peterhof station agree with results at the nearest WMO (World Meteorological Organization) stations within the range of ± 20 ppbv. Comparison of our data with CH_4 measurements provided by Voeikov Main Geophysical Observatory (the Voeikovo station is located to the east of St. Petersburg) found that the greatest difference (~ 50 ppbv) between results was observed during the autumn and winter of 2013.

This study was funded by the Russian Science Foundation, project 14-17-00096. Measurement facilities were provided by Geo Environmental Research Center “Geomodel” of Saint-Petersburg State University.

Influence of clouds on satellite and ground-based erythemal irradiance observations in Barcelona (SPAIN)

Yolanda Sola (ysola@am.ub.es), Jerónimo Lorente, Joan Bech, Albert Ossó
Department of Astronomy and Meteorology, University of Barcelona; Martí i Franqués 1 7th floor E-08028 Barcelona, Spain

Cloudiness is the main factor of the day-to-day variability in the surface solar irradiance, although the characterization of this relationship is complex due to the optical properties and the microphysical structure of the various cloud types. The role of cloudiness is even more important in the erythemal irradiance because of the potentially harmful effects on human health. Moreover, clouds also affect the determination of the erythemal irradiance from satellite observations.

We have analyzed 8-year data set (2005–2012) of 1-minute mean values of erythemal irradiance measured in Barcelona (41.35° N, 2.16° E) with a YES UVB-1 broadband radiometer belonging to the Spanish Meteorological Agency (AEMET) network. The cloud cover and types were recorded from routine visual observations from Fabra Observatory, close to the radiometers. Complementary, we derived atmospheric conditions from clearness index, determined from 10-minute global horizontal irradiances measured by a Kipp & Zonen CM-11 pyranometer. We have also compared surface data with satellite-based UV products of the Ozone Monitoring Instrument (OMI) over Barcelona, focusing on the effects of cloudiness in the 1-deg and 0.25-deg pixel resolutions.

From cloud cover observations at 13 UTC, we have determined that about 40% of the days are considered 'clear sky' (octas<2) and 38% are cloudy or overcast [1]. For cloud cover less than 4 octas, the averaged clearness index is higher than 0.65 because of clouds that do not block the solar disk. Therefore, it is difficult to determine unequivocally the 'clear sky' cases by means of clearness index exclusively. We have observed that the erythemal irradiance mean value from 12:30 to 13:30 UTC decreases more rapidly with the increase of cloud cover for small solar zenith angles (SZA). For SZA < 30°, the decrease in the erythemal irradiance is about 28% from clear to cloudy conditions. The erythemal irradiance also depends on the cloud type and the relative position to the Sun, especially for broken clouds (3–5 octas).

Surface erythemal irradiance has been compared with satellite-based UV erythemal irradiance at local noon, both clear-sky and cloud corrected products. First, to ensure clear-sky conditions for both datasets, we have selected 30-minute mean values of surface erythemal irradiance at 12 UTC satisfying that the observed cloud cover at 13 UTC was 0 octas and the clearness index 11:30–13:30 UTC mean value was higher than 0.65. It is observed that the OMI product overestimates the surface erythemal irradiance, especially in winter months with an annual relative error of 19%, in agreement with other published studies. This bias is higher when the comparison is based on measurements under overcast conditions.

This work has been supported by the project CGL2012-38945 (Influence of the climate patterns on the variation of ozone and UV radiation in the southwestern Europe).

The authors would like to thank AEMET for providing the erythemal irradiance and the Fabra Observatory for the cloud observarions. Moreover, we thank OMI scientific team for satellite-based data used in this work.

1. Bech, J., Y. Sola, A. Ossó, J. Lorente. Analysis of 14 years of broadband ground-based solar UV index observations in Barcelona. *Int. J. Climatol.* 2015. V. 35. P. 45–56.

Определение характеристик гравитационных волн методом лидарного зондирования

Коршунов В.А. (korshunov@typhoon.obninsk.ru), Зубачев Д.С
НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Россия

В докладе рассматриваются вопросы определения параметров волновых возмущений (ВВ) средней атмосферы по данным лидарного температурного зондирования, которое выполняется на длинах волн 355 и 532 нм модифицированным методом релеевского рассеяния в диапазоне высот от 30 до 70 км. Идентификация ВВ проводится по относительным флуктуациям температуры, для выделения которых на фоне среднего профиля используется сглаживающий сплайн. Непосредственно по температурным флуктуациям находится высотный профиль плотности потенциальной энергии гравитационных волн.

Для исследования спектральных характеристик ВВ применяется непрерывный комплексный вейвлет-анализ. С использованием известного пакета прикладных программ MATLAB разработано программное обеспечение для определения высотных профилей спектральной мощности флуктуаций температуры и энергии гравитационных волн. Для выделения ВВ на фоне хаотических флуктуаций температуры разработан метод фазовых диаграмм, применяемый к серии непрерывных измерений, проводимых, как правило, в течение ночи измерений. С помощью дополнительной интерактивной программы по фазовым диаграммам определяются период и фазовая скорость ВВ с определенной длиной волны. Разработана интерактивная программа для определения характеристик выделенных ВВ, локализованных во времени и в определенном интервале длин волн (волновых пакетов). С ее помощью рассчитываются высотные профили усредненного спектра температурных флуктуаций и плотности потенциальной энергии для отдельного ВВ.

Разработанная методика впервые позволяет исследовать спектральные характеристики отдельных волновых пакетов, в виде которых, как показывают данные измерений, и наблюдаются ВВ средней атмосферы. В качестве примера приводится средний для марта 2014 г. вертикальный профиль плотности энергии гравитационных волн (ГВ), на котором выявляются несколько уровней фильтрации ГВ. Спектральное представление показывает, что длины волн до 9 км не проходят выше уровня 48 км, в тоже время возмущения с длиной волны около 12 км свободно распространяются во всем высотном диапазоне. Приводятся характерные виды фазовых диаграмм ГВ, демонстрирующие, в частности, эффекты взаимодействия волн, распространяющихся по высоте навстречу друг другу, а также влияние средней скорости потока на фазовые характеристики волн. Даны примеры определения параметров выделенных ВВ, в том числе с изменяющейся по высоте длиной волны. Рассчитанные уровни насыщения спектральной мощности температурных флуктуаций выделенных ВВ сопоставляются с известными теоретическими оценками теории линейного насыщения.

Determination of parameters of gravity waves by means of lidar sensing method

V.A. Korshunov (korshunov@typhoon.obninsk.ru), D.S. Zubachev
Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobeda str., 249038 Obninsk, Kaluga region, Russia

The report concerns the problem of the determination of wave disturbances (VD) parameters in the middle atmosphere at the 30–70 altitude range from data of lidar sensing at 355 and 532 nm wavelengths by means of modified Rayleigh method. Relative fluctuations of temperature are extracted from the average temperature profile by means of smoothing spline and are taken for identification of the VD. Altitude profile of the potential energy density is directly deduced from temperature fluctuations.

Continuous complex wavelet analyses is applied for investigation of VD spectral parameters. The software based on well known MATLAB packet is developed for determination of altitude profiles of the power spectral density of temperature fluctuations and gravity waves energy. Phase diagram method is elaborated for extraction of VD on the background of chaotic temperature fluctuations, which is applied, as a rule, to continuous series of measurements carried out during the whole night of measurements. An additional interactive program is used for determination of the wave period and vertical phase velocity at certain wavelength from the phase diagram. Another interactive program is developed for determination of parameters of separate VD, localized in time and wavelength regions (wave packets). With this program altitude profiles of average spectrum of temperature fluctuations and potential energy density are calculated for isolated VD.

For the first time these methods allows to study spectral parameters of isolated wave packets, which are currently present in the middle atmosphere, as data of measurement are revealed. As an example, the vertical profile of potential energy density of gravity waves average for March 2014 (where a number of filtration levels of gravity waves are revealed) is presented. Spectral presentation shows that waves at wavelength up to 9 km do not pass the 48-km level, while waves at wavelengths of about 12 km freely propagates over entire altitude range. Typical examples of phase diagrams shows, in particular, effects of the interaction of waves propagated in opposite vertical directions, as well as the influence of velocity of mean flow on phase parameters of waves. Some examples of determination of isolated VD parameters are given, and among them, for those which wavelength depends on altitude. Calculated saturation levels of the power density of temperature fluctuations for isolated VD are compared with known theoretical estimates of the linear saturation theory.

Радиозондовые исследования внутренних гравитационных волн и процессов насыщения ВГВ в атмосфере Земли и их приложения к радиозатменным наблюдениям ВГВ в атмосферах Марса и Венеры

Губенко В.Н. (vngubenko@gmail.com), Кириллович И.А., Павельев А.Г.
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. акад. Б.А. Введенского *1*, *141190* Фрязино, Моск. обл., Россия

Внутренние гравитационные волны (ВГВ) существенно влияют на структуру и циркуляцию атмосферы Земли путем переноса энергии и импульса с нижних ее уровней на верхние. Поскольку ВГВ является характерной особенностью устойчиво стратифицированной атмосферы, то аналогичные эффекты можно ожидать в атмосферах Марса и Венеры. Источниками генерации ВГВ в атмосферах планет могут быть тепловые контрасты вблизи поверхности, топография, сдвиговая неустойчивость ветра, конвекция и фронтальные процессы. Наблюдения флуктуаций температуры и скорости ветра в средней атмосфере Земли показали, что волновые амплитуды возрастают с увеличением высоты, однако недостаточно быстро, чтобы соответствовать их росту из-за экспоненциального уменьшения плотности в отсутствии диссипации энергии. Линейная теория насыщенных

ВГВ объясняет это замедление темпа амплитудного роста следующим образом: превышение волновой амплитудой пороговой величины будет приводить к неустойчивости и возникновению турбулентности, которая препятствует дальнейшему увеличению волновой амплитуды. Полагают, что сдвиговая и конвективная неустойчивости являются теми механизмами, которые вносят наибольший вклад в диссипацию и насыщение ВГВ в атмосфере. Для высокочастотных волн пороговые амплитуды сдвиговой и конвективной неустойчивости примерно одинаковы. Однако, для низкочастотных ВГВ порог сдвиговой неустойчивости существенно ниже его аналога для конвективной неустойчивости. Информация о реальной и пороговой волновой амплитуде важна при определении влияния эффектов ВГВ на невозмущенную атмосферу.

Предположение о насыщении внутренних волн играет ключевую роль для радиозатменных исследований ВГВ в атмосферах планет [1–4], поэтому изучение процессов насыщения волн в атмосфере Земли с помощью зондов является актуальной задачей. Представлены результаты определения реальных и пороговых амплитуд, степени насыщения и других характеристик для идентифицированных ВГВ в земной атмосфере, полученные из анализа высокоточных радиозондовых измерений горизонтального ветра и температуры SPARC (http://www.sparc.sunysb.edu/). В докладе обсуждается полезность радиозондовых волновых исследований в связи с радиозатменными наблюдениями ВГВ в планетарных (Земля, Марс, Венера) атмосферах.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 13-02-00526-а и Программы 9 Президиума РАН.

1. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Andreev V.E. Determination of the intrinsic frequency and other wave parameters from a single vertical temperature or density profile measurement // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. No.D08109, doi:10.1029/2007JD008920.
2. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Salimzyanov R.R., Pavelyev A.A. Reconstruction of internal gravity wave parameters from radio occultation retrievals of vertical temperature profiles in the Earth's atmosphere // Atmos. Meas. Tech. 2011. V. 4. No.10. P. 2153–2162, doi:10.5194/amt-4-2153–2011.
3. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Salimzyanov R.R., Andreev V.E. A method for determination of internal gravity wave parameters from a vertical temperature or density profile measurement in the Earth's atmosphere // Cosmic Res. 2012. V. 50. No.1. P. 21–31, doi: 10.1134/S0010952512010029.
4. Gubenko V.N., Kirillovich I.A., Pavelyev A.G. Characteristics of internal waves in the Martian atmosphere obtained on the basis of an analysis of vertical temperature profiles of the Mars Global Surveyor mission // Cosmic Res. 2015. V. 53. No.2. P. 133–142, doi: 10.1134/S0010952515020021.

Radiosonde studies of internal gravity waves and IGW saturation processes in the Earth's atmosphere and their applications to the RO observations of IGWs in the Martian and Venusian atmospheres

V.N. Gubenko (vngubenko@gmail.com), I.A. Kirillovich, A.G. Pavelyev
Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, Vvedenskogo sq. 1, 141190 Fryazino, Moscow region, Russia

Internal gravity waves (IGWs) significantly affect the structure and circulation of the Earth's atmosphere by transporting the energy and momentum upward from a lower atmosphere. Since IGWs are a characteristic feature of a stably stratified atmosphere, similar effects can be expected in the Martian and Venusian atmospheres. The sources of IGW generation in the planetary atmospheres may be thermal contrasts near surface, topography, shear wind instability, convection and frontal processes. Observations of the temperature and wind velocity fluctuations in the Earth's middle atmosphere have shown that wave amplitudes grow with increasing altitude, however, no quickly enough in order to correspond to amplitude growth due to exponential decrease of density in the absence of energy dissipation. The linear theory of saturated IGWs explains such rate of the wave amplitude growth in the following way: any wave amplitude in excess of the threshold value will lead to instability and the production of turbulence that acts to prevent further growth of the wave amplitude. The mechanisms that contribute most to the dissipation and saturation of the dominant IGW motions in the atmosphere are thought to be the shear and convective instability. For

high-frequency waves, the threshold amplitude required to achieve shear instability is virtually identical to that required for convective instability. But for low-frequency IGWs, the shear instability threshold falls well below that necessary for convective instability. The knowledge of actual and threshold wave amplitudes is important when the effect of IGWs on the background atmosphere is to be assessed.

The internal wave saturation assumption plays the key role for radio occultation (RO) investigations of IGWs in planetary atmospheres [1–4], therefore a radiosonde study of wave saturation processes in the Earth's atmosphere is actual task. The results of determination of the actual and threshold amplitudes, saturation degree and other characteristics for identified IGWs in the Earth's atmosphere found from an analysis of the high-resolution radiosonde horizontal wind and temperature measurements SPARC (http://www.sparc.sunysb.edu/) are presented. The usefulness of these radiosonde wave studies in conjunction with RO observations of IGWs in the planetary (Earth, Mars, Venus) atmospheres is discussed.

The work was carried out under partial support of the RFBR grant 13-02-00526-a and Program 9 of the RAS Presidium.

1. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Andreev V.E. Determination of the intrinsic frequency and other wave parameters from a single vertical temperature or density profile measurement // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. No.D08109, doi:10.1029/2007JD008920.
2. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Salimzyanov R.R., Pavelyev A.A. Reconstruction of internal gravity wave parameters from radio occultation retrievals of vertical temperature profiles in the Earth's atmosphere // Atmos. Meas. Tech. 2011. V. 4. No.10. P. 2153–2162, doi:10.5194/amt-4-2153–2011.
3. Gubenko V.N., Pavelyev A.G., Salimzyanov R.R., Andreev V.E. A method for determination of internal gravity wave parameters from a vertical temperature or density profile measurement in the Earth's atmosphere // Cosmic Res. 2012. V. 50. No.1. P. 21–31, doi: 10.1134/S0010952512010029.
4. Gubenko V.N., Kirillovich I.A., Pavelyev A.G. Characteristics of internal waves in the Martian atmosphere obtained on the basis of an analysis of vertical temperature profiles of the Mars Global Surveyor mission // Cosmic Res. 2015. V. 53. No.2. P. 133–142, doi: 10.1134/S0010952515020021.

Variations of the electrostatic field during the winter fogs

V.I. Kozlov[1], V.A. Mullayarov[1], P.M. Nagorskiy[2] (npm_sta@mail.ru), A.A. Toropov[1]
[1]*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin av., 677980 Yakutsk, Russia*
[2]*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academichesky ave., 634055 Tomsk, Russia*

When anticyclonic weather regime, the stagnation of cold air and low temperature form long frost (ice) fogs. This situation is typical for Western and Eastern Siberia, for example, the central Yakutia and, especially, Yakutsk. Winter fogs occur in populated areas because of the extra moisture entering the atmosphere from the burning of fuels in automobiles and heating systems. Ice fogs occur in the morning hours in the lowlands at lower temperatures outside settlements. Fog is characterized as severe weather events with visibility less than 50 m.

The study of variations in the atmospheric electrostatic field during the winter fog in Yakutsk and Tomsk in 2007–2014 is presented. The presence of fog was confirmed by the data of the Hydrometeorological and visual observations. In Yakutsk annual number of days by long-term observations ranges 40–90. Maximum occurrence of fog is in December–January. In Western Siberia (Tomsk) the number of days with fog is much less. Atmospheric electricity effects optical properties of the atmosphere through the diffusion mechanism of ultrafine aerosol charge in urban winter smog. Summer fogs cause a slight increase in field strength (in absolute value), and the winter fogs (smog) cause a decrease in field strength. Unlike summer mists, which gradually formed, that winter ice fog occurs more rapidly.

In the absence of ice fog the range of oscillation periods of the electrostatic field of the atmosphere can be divided by frequency (period) into three ranges: the horizontal portion of the spectrum (the upper limit of periods does not exceed tens of seconds); linear growth plot of the amplitudes of the spectral components due to turbulent mixing (its characteristic periods of limited

internal and external turbulence scale), and the site associated with the saturation, the lower boundary period of that is usually equal to or greater than 30 minutes.

During ice fogs, the upper limit of the range of electrostatic noise (white noise) increases by more than an order of magnitude and is at least 10–60 min. The lower boundary between the spectral region associated with the saturation also increases to hundreds of minutes. Increasing the internal scale of turbulence during the winter fogs is explained by the increasing of the size of charged aerosol particles and the corresponding increase in viscosity of the medium more than an order of magnitude. Electrostatic noise spectra in the inertial range with the growth period increases much more slowly. In addition, in this interval there are some short periods for which the spectrum can be considered linear. Consequently, the turbulence in the emerging energy transfer along the spectrum is negligible, and the vortices are weak blurred. The relative level of the low frequency components of the vibration spectrum during ice fog falls. At the same time, the relative level of the high frequency components slightly increases.

Supported by grants from RFBR № 12-05-98528-r_vostok_a, 12-02-00174-a and program Min.OiNRF, state job 2.1626.2011.

Исследование короткопериодных глобальных волн атмосферы по барометрическим и гравиметрическим измерениям на близкоширотных станциях сети Глобального Геодинамического Проекта

Ермоленко С.И.[1], Кукушкина А.Е.[1,2], Якоби К.[3], Швед Г.М.[1] (shved@pobox.spbu.ru)
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия
[2]Марийский государственный университет, пл. Ленина *1, 424000* Йошкар-Ола, Россия
[3]Лейпцигский университет, Институт метеорологии, Лейпциг, Германия

С 1997 г. действует Глобальный Геодинамический Проект (ГГП), в рамках которого на более чем тридцати станциях, разбросанных по всем материкам, проводятся непрерывные гравиметрические измерения с использованием сверхпроводящих гравиметров. Чтобы отстроиться от мешающего гравиметрическим измерениям воздействия атмосферных динамических процессов, на каждой станции с помощью высокочувствительных барометров одновременно проводятся непрерывные измерения приземного давления атмосферы. В диапазоне периодов от 1 до 5 часов не существует колебаний литосферы, свойственных твердой Земле, а гармоники лунного прилива крайне слабы. Поэтому в указанном диапазоне периодов показания барометров и гравиметров оказываются пригодными для наблюдения короткопериодных глобальных волн атмосферы (ГВА). Атмосферные волны воздействуют на показания сверхпроводящего гравиметра благодаря создаваемым ими вариациям силы тяжести: периодические изменения плотности воздуха при распространении волны над гравиметром вызывают колебания маятника гравиметра за счет вариаций ньютоновского притяжения маятника атмосферой. Данное исследование является первым, в котором база данных сети ГГП используется для изучения слабых короткопериодных ГВА.

Мы начинаем исследование короткопериодных ГВА с периодами ~ 1–5 час (частоты 50–325 мкГц) с ГВА, которые одновременно регистрируются на близкоширотных, но разнодолготных станциях. Такие станции имеются только в Европе – это станции в Мембахе (Бельгия), Бад Хомбурге, Моксе (обе в Германии) и Пекни (Чехия) с долготами 6.0, 8.6, 11.6 и 14.8 E, соответственно, и с разбросом по широте от 49.9 до 50.6 N. К исследуемым короткопериодным ГВА относятся три типа волн: (1) высокие гармоники солнечного теплового прилива, (2) гравитационные собственные колебания атмосферы, (3) проникающее в атмосферу самое низкочастотное собственное колебание Земли ${}_0S_2$ с периодом около 54 мин. Анализируются двухгодичные ряды барометрических и гравиметрических измерений, в которых последовательно отфильтрованы колебания с частотами меньше 40, 80, 120, 160 и 200 мкГц. Спектральному анализу подвергаются отрезки рядов длиной 5 суток, сдвигающиеся по времени с шагом 1 сутки. Исследование нацелено, во-первых, на

выявление случаев одновременной регистрации короткопериодных ГВА на разных станциях и, во-вторых, на определение долготной структуры собственных колебаний атмосферы посредством фазового анализа одновременно зарегистрированных колебаний.

Работа поддержана грантом (G-2015a-3) Германо-российского междисциплинарного научного центра (G-RISC), фондируемого Германским федеральным министерством иностранных дел через Германскую службу академических обменов (DAAD).

Study of global short-period waves in the atmosphere with using barometer and gravimeter measurements at stations of the Global Geodynamics Project network, which are on closely spaced latitudes

S.I. Ermolenko[1], A.E. Kukushkina[1,2], Ch. Jacobi[3], G.M. Shved[1] (shved@pobox.spbu.ru)

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

[2]*Mari State University, 1 Lenin Square, 424000 Yoshkar-Ola, Russia*

[3]*University of Leipzig, Institute for Meteorology, 3 Stephanstr., D-04103 Leipzig, Germany*

Since 1997, continuous gravimetric measurements with superconducting gravimeters are made in the frame of the Global Geodynamics Project (GGP) at more than thirty stations located on all the continents. To take account of an effect of atmospheric dynamical processes on the gravimeter measurements, at all stations there is a highly sensitive barometer which simultaneously measures the surface pressure of the atmosphere. In the period range from 1 to 5 hours, there are no oscillations of the lithosphere, which are inherent to the solid Earth, and the harmonics of lunar tide are highly weak. That is why the barometer and gravimeter measurements are suitable to observe short-period global atmospheric waves (GAWs) in this period range. The atmospheric waves affect the readings of superconducting gravimeter due to the gravity variations created by waves: periodic change in air density during the propagation of wave above gravimeter causes oscillations of the gravimeter pendulum due to variations in the Newtonian attraction of pendulum by the atmosphere. This work is the first that uses the database of the GGP network to study weak short-period GAWs.

We begin the study of short-period GAWs with the periods of ~ 1 – 5 h (the frequencies of 50 – 325 μHz) from waves, which simultaneously are revealed at stations with closely spaced latitudes but different longitudes. Such stations are only in Europe: those are Membach (Belgium), Bad Homburg, Moxa (both in Germany), and Pecny (Czech Republic) with the longitudes of 6.0, 8.6, 11.6, and 14.8° E, respectively, in the latitudinal range from 49.9 to 50.6° N. We study three types of short-period GAWs: (1) high harmonics of the solar thermal tide, (2) the gravity free oscillations of the atmosphere, (3) the most low-frequency free oscillations $_0S_2$ of the Earth with the period of about 54 minutes, which penetrate into the atmosphere. The biennial series of the barometer and gravimeter measurements have been filtered to eliminate successively oscillations with frequencies less than 40, 80, 120, 160, and 200 μHz. The frequency spectra have been obtained for 5-day segments. The segments are shifted along the series by 1 day. The study is aimed, firstly, to reveal the cases of simultaneous detection of short-period GAWs at different stations and, secondly, to determine the longitudinal structure of the free oscillations of the atmosphere by means of phase analysis of simultaneously recorded ones.

This work was supported by the German-Russian Interdisciplinary Science Center (G-RISC) funded by the German Federal Foreign Office via the German Academic Exchange Service (DAAD), the grant G-2015a-3.

Характеристики эффектов в верхней атмосфере Земли, вызванных падением метеорита "Челябинск"

Перевалова Н.П.[1] (pereval@iszf.irk.ru), Бернгардт О.И.[1], Шестаков Н.В.[2,3], Загретдинов Р.В.[4], Бахтияров В.Ф.[5]

[1]Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова *126а, 664033* Иркутск, Россия
[2]Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
[3]Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток, Россия
[4]Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), Казань, Россия
5НПК Геополигон КФУ, Казань, Россия

По данным сетей приемников GPS, расположенных в Челябинской области и республике Татарстан, проведен анализ характеристик ионосферных эффектов, вызванных метеоритом "Челябинск". Возмущения в ионосфере исследовались на основе вариаций полного электронного содержания (ПЭС), рассчитанных по двухчастотным фазовым измерениям приемников GPS. В вариациях ПЭС обнаружены возмущения, имевшие характерную форму, соответствующую форме ударной акустической волны. Возмущения начали регистрироваться в 03:26 UT (через 6 мин. после взрыва метеорита) на расстояниях 80–100 км от места взрыва. Возмущения ПЭС представляли собой колебания с периодом около 10 мин. и амплитудой 0.07–0.5 TECU.

Анализ диаграмм "дальность-время" выявил несколько мод перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), распространявшиеся со скоростями от 250 до 660 м/с. Наиболее быстрые возмущения наблюдались первыми. Характер ПИВ менялся со временем. В период 03:26–03:33 UT возмущения ПЭС отличались быстрой динамикой. Фронт возмущений имел форму конуса, расходящегося от траектории падения метеорита. После 03:34 UT ПИВ представляло собой сферическую волну, распространявшуюся от центра с координатами 54.90°N; 60.85°E. Центр возмущений ПЭС оказался смещенным на 37 км к северо-западу от места взрыва метеорита. Между 03:34–03:37 UT скорость перемещения фронта волны составляла 420 м/с, после 03:37 UT она уменьшилась до 247 м/с. Форма фронта в период 03:26–03:33 UT говорит о том, что данные возмущения связаны с ударной волной, вызванной полетом метеорита. Кольцевое возмущение после 03:34 UT свидетельствует о распространении акустико-гравитационной волны (АГВ).

Таким образом, обнаружена трансформация ударной акустической волны в АГВ, которая может быть ассоциирована с собственными колебаниями атмосферы. Проведено сравнение азимутальных распределений амплитуды возмущений ПЭС с моделью распространения акустического сигнала от сверхзвукового пролета метеорита. Полученные данные позволяют сделать вывод, что источником возмущений в верхней атмосфере является участок траектории полета метеорита длиной ~ 200 км от точки его первой регистрации на высоте ~ 97 км до точки падения в оз. Чебаркуль.

Авторы выражают глубокую благодарность ООО "ГЕОСалют" (г. Москва) и лично С. Паршину, а также ООО "Полеос" (г. Челябинск) за данные сети приемников GPS в Челябинской области; компании НАВГЕОКОМ (http://www.navgeocom.ru) за данные сети приемников GPS в РФ; Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC, http://sopac.ucsd.edu) за данные глобальной сети приемников GPS.

Работа выполнена при поддержке гранта № НШ-2942.2014.5 Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ РФ, а также Российского фонда фундаментальных исследований (грант 14-05-00514) и Дальневосточного федерального университета (проект № 14-08-01-05_м).

Characteristics of the effects triggered off by the Chelyabinsk meteorite in the Earth's upper atmosphere

N.P. Perevalova[1] (pereval@iszf.irk.ru), O.I. Berngardt[1], N.V. Shestakov[2,3], R.V. Zagretdinov[4], V.F. Bakhtiyarov[5]

[1]*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126 Lermontov str., 664033 Irkutsk, RussiaIrkutsk, Russia*
[2]*Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia*
[3]*Institute of Applied Mathematics FEB RAS, Vladivostok, Russia*
[4]*Kazan Federal University (KFU), Kazan, Russia*
[5]*RPC "Geopolygon", KFU, Kazan, Russia*

We analyzed characteristics of the ionospheric effects caused by the Chelyabinsk meteorite, using data of GPS networks located in the Chelyabinsk region and Republic of Tatarstan. The ionospheric effects were studied based on total electron content (TEC) variations calculated from dual-frequency phase measurements by GPS receivers. The disturbances with a characteristic shape corresponding to that of an acoustic shock wave were revealed in the TEC variations. The first TEC disturbances were detected at 03:26 UT (~ 6 min after the meteorite explosion), 80–100 km away from the airburst position. The TEC oscillations had the period of 10 min and amplitude of 0.07–0.5 TECU.

Several modes of traveling ionospheric disturbances (TIDs) propagated with the velocities ranging from 250 to 660 m/s were distinguished through the distance-time diagram analysis. The fastest disturbances were observed the first. The TID behavior changed over time. During 03:26–03:33 UT, the TEC disturbances were characterized by fast dynamics. Their front was cone-shaped going away from the meteorite atmospheric flight path. After 03:34 UT, the TIDs represented an annular wave propagating from the center with coordinates 54.90°N; 60.85°E. The wavefront center was placed approximately 37 km northwestward of the airburst position. Between 03:34–03:37 UT, the disturbance wavefront velocity was about 420 m/s, after 03:37 UT it reduced to 247 m/s. The wavefront shape within the period 03:26–03:33 UT may mean that these disturbances are associated with the shock wave caused by the meteorite flight. The annular TID wavefront observed after 03:34 UT testifies to acoustic-gravity wave (AGW) propagation.

Thus, the acoustic shock wave is found transformed in the AGW. This AGW might be associated with atmospheric normal modes. We compared the azimuthal distributions of TEC disturbance amplitude with the model of propagation of an acoustic signal from a supersonic meteorite flight. The obtained data allow us to conclude that a TID source is the meteorite flight path of ~ 200 km from a point of the first meteorite registration at the height of ~ 97 km to the end point in Lake Chebarkul.

We are deeply indebted to GEOSalyut LLC (Moscow) and personally to S. Parshin as well as to Poleos LLC (Chelyabinsk) for access to data from the Chelyabinsk GPS network, to NAVGEOKOM company (http://www.navgeocom.ru) for access to data from the Russian GPS network, to Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC, http://sopac.ucsd.edu) for access to data from the global GPS network.

This work was supported by the RF President Grant of Public Support for RF Leading Scientific Schools (NSh-2942.2014.5), by RFBR grant 14-05-00514 and by the Far Eastern Federal University, project No. 14-08-01-05_m.

Исследование турбулентности и оптической нестабильности земной атмосферы в горных районах юга Сибири

Шиховцев А.Ю. (artempochta2009@rambler.ru), Ковадло П.Г.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова *126а, 664033* Иркутск, Россия

В работе приведены результаты исследований атмосферной турбулентности и оптической нестабильности в месте расположения Байкальской астрофизической обсерватории. Проведено сравнение наблюдаемых параметров атмосферной турбулентности и рассчитанных на основании формы энергетического спектра турбулентности в широком

диапазоне масштабов. Отдельно рассмотрен случай турбулизации при устойчивой термической стратификации приземного слоя атмосферы, в том числе при сверхкритических числах Ричардсона. Показано, что при малых скоростях ветра в условиях больших вертикальных градиентов температуры оптическая нестабильность земной атмосферы может достигать высокой интенсивности, при этом турбулентность локализуется на отдельных участках пространства, имея перемежающую мелкомасштабную структуру.

The investigation of turbulence and optical instability of the earth's atmosphere in the mountain regions of the Southern Siberia

A.Yu. Shikhovtsev (artempochta2009@rambler.ru), P.G. Kovadlo
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126 Lermontov str., 664033 Irkutsk, RussiaIrkutsk, Russia

The results of investigating the atmospheric turbulence and optical instability at the Baykal astrophysical observatory site are shown. A comparison of the atmospheric turbulence parameters observed and calculated using the shape of the energy turbulence spectrum in a wide range of scales has been performed. Separately, the case of the air turbulization in the stable stratified atmospheric surface layer, including regime of supercritical Richardson numbers is discussed. In this case the turbulence is located in some regions of space and characterized by intermittent small-scale structure.

Исследование динамики ветра в пограничном слое атмосферы

Семенова Ю.А. (brilliance_wave@mail.ru)
Северо-Кавказский федеральный университет, ул. Пушкина *1, 355000* Ставрополь, Россия

В прогнозировании важно не только правильно и точно рассчитать скорость ветра, но и знать изменение ее с высотой, то есть изменение профиля ветра в пограничном слое атмосферы. Как известно, процессы, происходящие в пограничном слое атмосферы, оказывают значительное влияние на характер погоды. Несмотря на то, что на данный момент существует модель движения воздуха в пограничном слое атмосферы (модель Экмана), существует необходимость ее усовершенствования в связи тем, что в ней не учитывается различная ориентация изобар и влажность воздуха.

Исследование посвящено развитию модели Экмана с учетом влажности атмосферы и различной ориентации изобар, изучению зависимости годографа ветра от разных синоптических ситуаций.

Внешние вынуждающие воздействия в динамике индексов экстремальности климата в западной Сибири

Волкова М.А.[1] (mv2101@mail.ru), Чередько Н.Н.[2]
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, пр. Ленина *30, 634050* Томск, Россия
[2]Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр. *10/3, 634055* Томск, Россия

Представлены результаты анализа экстремальных характеристик тепло-влажностного режима территории Западной Сибири за период 1951–2010 гг. и согласованности их динамики с внешними климатообразующими факторами. Погодные экстремумы, хотя и связаны с малыми вероятностями, являются более информативными характеристиками с точки зрения оценки рисков изменения климата, чем средние характеристики, поэтому все чаще используются в современных отечественных и зарубежных научных исследованиях при оценке изменчивости погоды и климата. Пространственная и временная изменчивость

формирования экстремальных явлений погоды крайне высока, поэтому важен подробный анализ индексов экстремальности в региональных масштабах.

В данной работе рассматривались индексы экстремальности климата, рекомендованные к анализу объединённой рабочей группой ВМО по обнаружению изменения климата – STARDEX Diagnostic Extremes Indices [1]. Проведена оценка изменения рассчитанных показателей от периода 1951–1980 гг. к 1981–2010 гг. Для выявления степени согласованности изменения индексов по территории для каждого критерия был применен компонентный анализ, задача которого состоит в преобразовании исходных характеристик в главные компоненты с дисперсией, равной дисперсии исходного ряда. Оценка согласованности в изменениях различных характеристик климата позволяет выявлять ведущие факторы в их изменчивости. То есть при условии высокой согласованности в динамике рассмотренных показателей по территории можно утверждать, что эти изменения представляют собой отклик на процессы глобальных масштабов.

Компонентный анализ индексов экстремальности температурного режима показал высокую степень согласованности в их динамике на разных станциях и высокую степень связности типового временного хода с исходными рядами индексов для каждой станции. Первая компонента описывает до 90% изменчивости разных показателей, что отражает преобладающее влияние глобальных климатообразующих факторов на температурный режим региона. Для критериев экстремальности режима осадков исследуемой территории выявлена высокая неоднородность в их изменчивости. Это закономерно можно связать со значительной определяющей ролью местных условий станции на режим осадков, большой протяженностью территории с севера на юг и преобладанием различных форм атмосферной циркуляции над разными ее частями, прежде всего особенностями циклонической активности. Доля объясненной двумя первыми компонентами изменчивости осадков составляет всего 28–35%. Таким образом, можно заключить, что изменения в режиме осадков Западной Сибири лишь на треть определяются глобальными событиями в климате. Районы с синхронным изменением временных рядов экстремальных осадков позволила выявить проведенная классификация, при учете результатов которой доля объясненной дисперсии возросла до 40–60%. Для оценки астрономического эффекта согласованности, выявленной в рядах индексов экстремальности, для исходных и типовых рядов каждого показателя выявлялись периодичности по алгоритму, описанному в [2]. Набор выявленных модуляций для разных станций и разных показателей сходен. Практически в рядах всех показателей на всех станциях выявлены 11-, 22-летние циклы и квазиполувековой сигнал, который связывают с влиянием асимметрии центра массы Солнечной системы вследствие изменения положения крупных планет [3–5].

1. Козлова Д.С. Экстремальные показатели режима температур и осадков г. Барнаула (1960–2012 гг.) / Д.С. Козлова, Н.Ф. Харламова // Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды: материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием (Барнаул, 1–8 августа 2014 г.). Барнаул: ООО «ТЛ Красный угол». 2014. С. 39–42.
2. Крутиков В.А., Прейс Ю.И., Кусков А.И., Чередько Н.Н. Цикличность торфообразовательного процесса на юге лесной зоны Западной Сибири // Изв. ТПУ. 2010. Т. 317. № 1. С. 46–51.
3. Loehle C., Scafetta N. Climate change attribution using empirical decomposition of climatic data // The Open Atmospheric Science Journal. 2011. № 5. P. 74–86.
4. Mazzarella A., Scafetta N. Evidences for a quasi 60-year North Atlantic Oscillation since 1700 and its meaning for global climate change [Электронный ресурс]: // Theoretical and Applied Climatology. 2011. DOI 10.1007/s00704-011-0499-4. – URL: http://www.fel.duke.edu/~scafetta/.
5. Scafetta N. A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature // J. Atm. Solar-Ter. Physics. 2012. № 74. P. 145–163.

External forcing in the dynamics of extreme climate indices in Western Siberia

M.A.Volkova[1] (mv2101@mail.ru), N.N. Cheredko[2]
[1]*National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia*
[2]*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academichesky ave., 634055 Tomsk, Russia*

An analysis of extreme characteristics of the temperature and precipitation in Western Siberia for the period 1951–2010 was conducted. The consistency of index dynamics with external climatic factors has been shown. Weather extremes are used increasingly in modern Russian and foreign researches in the evaluation of the current changes in weather and climate. Extreme characteristics are more informative than the average characteristics for the risk assessment of climate change. Extreme weather events have a high spatial and temporal variability, so the detailed analysis of extreme indices on a regional scale is necessary.

In this paper, extreme climate indices that are recommended by the working group of the WMO – STARDEX Diagnostic Extremes Indices [1] – were investigated. The assessment of changes in the indices calculated from the period 1951–1980 to 1981–2010 years is provided. The component analysis was used for each criterion to identify changes in the consistency of Indices on territory. The componental analysis transforms the original characteristics into principal components with dispersion, which is equal to the variance of the original time series. Assessment of the consistency of changes in different climatic characteristics allows identifying the major factors in their variability. If a high the consistency is observed in the dynamics of the considered indicators of the territory, it can be argued that these changes are a response to global scales.

The component analysis of temperature Extremes indices showed the high level consistency in their dynamics at different stations and a high degree of connectivity of the model time variation with the original series of indices for each station. The first component describes up to 90% of the variance, reflecting the predominant influence of global climatic factors on the temperature regime of the region. A high heterogeneity in the variability of precipitation extreme indices was revealed in the study area. This is related to the influence of local conditions on the precipitation regime, with long areas and features of cyclonic activity. Aggregate share of explained variability of the first two components amounted to only 28–35 %. Thus, changes in precipitation in Western Siberia are determined by global developments in climate only on a third. The cluster analysis revealed regions with synchronous changes in time series of extreme precipitation. As a result, the classification of the proportion of explained variance increased to 40–60%. The astronomical effect in Extremes indices was detected using harmonic analysis [2]. The set of harmonics is similar for different stations and different indicators. Quasi-half a century cycle determined by the position of the planets of the Solar system and the influence of the asymmetry of the centre of mass of the Solar system is revealed practically in all the ranks of Extremes indices[3–5].

1. Kozlova D. Extreme indicators of regime of temperature and precipitation in Barnaul (1960–2012 years) / D. Kozlovф, N. Kharlamovф // Modern achievements and problems in studying the Environment: *Proc. Youth Research & Practical Conf.* (Barnaul, 1–8 August 2014). Barnaul. 2014. P. 39–42 (in Russian).
2. Krutikov V., Preis Yu, Kuskov A., Cheredko N. Cyclicity of peat-formation process in the South of Western Siberia forest area // Bull. Tomsk Polytechnic University. 2010. V. 317. № 1. P. 46–51 (in Russian).
3. Loehle C., Scafetta N. Climate change attribution using empirical decomposition of climatic data // *The Open Atmospheric Science Journal*. 2011. № 5. P. 74–86.
4. Mazzarella A., Scafetta N. Evidences for a quasi 60-year North Atlantic Oscillation since 1700 and its meaning for global climate change [Электронный ресурс]: // *Theoretical and Applied Climatology*. 2011. DOI 10.1007/s00704-011-0499-4. – URL: http://www.fel.duke.edu/~scafetta/.
5. Scafetta N. A shared frequency set between the historical mid-latitude aurora records and the global surface temperature // *J. Atm. Solar-Ter. Physics*. 2012. № 74. P. 145–163.

Моделирование динамики вихревых структур в атмосфере, гидросфере и плазме

Белашов В.Ю. (vybelashov@yahoo.com)
Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская 18, 420008 Казань, Россия

Работа посвящена динамике и взаимодействию вихревых структур в сплошных средах в 2D приближении, когда для моделирования вихревых движений применимы уравнения эйлерового типа. Для численного моделирования использовался модифицированный метод контурной динамики. Были выполнены серии численных экспериментов по изучению двухвихревого взаимодействия и взаимодействий в *N*-вихревых системах, включая взаимодействие между вихревыми структурами и пылевыми частицами, а также взаимодействие 3D плоско вращающихся вихревых структур в рамках многослойной модели среды. Исследованы приложения к динамике вихревых структур в атмосфере, гидросфере и плазме: динамика синоптических и океанских вихрей циклонического типа, которые могут рассматриваться, как фронты завихренности, взаимодействие в системе вихрь-пылевые частицы, а также динамика заряженных нитей, представляющих собой потоки заряженных частиц в однородном магнитном поле в рамках 2D модели плазмы Тэйлора-Макнамары.

Полученные результаты показали, что во всех случаях могут наблюдаться два режима взаимодействия: слабое взаимодействие с квазистационарной эволюцией системы и активное взаимодействие, сопровождающееся "фазовым перемешиванием", когда эволюция может приводить к формированию сложных форм областей завихренности. Теоретическое объяснение наблюдаемых эффектов дается на основе введенного обобщенного критического параметра, определяющего качественный характер вихревого взаимодействия.

Computer simulation of the dynamics of vortex structures in the atmosphere, hydrosphere and plasma

V.Yu. Belashov (vybelashov@yahoo.com)
Kazan (Volga region) Federal University, 18 Kremlyovskaya str., Kazan, Russia

This paper is devoted to dynamics and interaction of the vortex structures in fluids and plasmas in 2D approximation, when the Euler-type equations are applicable for modeling of the vortex motion. For numerical simulation we used the modified contour dynamic method. We fulfilled a number of the series of numerical simulations for study of two-vortex interaction, the interaction in the *N*-vortex systems, including interaction between the vortex structures and the dust particles, and also interaction of 3D plane-rotating vortex structures within the framework of many-layer model of medium. We have investigated the applications to dynamics of the vortex structures in the atmosphere, hydrosphere and plasma, namely: the dynamics of the cyclonic type synoptic and ocean vortices which can be considered as a vorticity front, the interaction in the vortex-dust particles system, and the dynamics of charged filaments which represent streams of charged particles in a uniform magnetic field in 2D model of plasma of Taylor-McNamara.

The results obtained have showed that for all cases two regimes of the interaction can be observed, namely: the weak interaction with quasi-stationary evolution and active interaction with the "phase intermixing", when the evolution can lead to formation of complex forms of vorticity regions. The theoretical explanation of the effects is given on the basis of the generalized critical parameter introduced which determines qualitative character of interaction of vortices.

Динамика уединенных внутренних гравитационных волн и перемещающихся ионосферных возмущений на высотах F-области ионосферы

Белашов В.Ю.[1] (vybelashov@yahoo.com), Белашова Е.С.[2]
[1]Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская 18, 420008 Казань, Россия
[2]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, ул. К. Маркса 10, Казань, Россия

Изучается динамика уединенных нелинейных внутренних гравитационных волн (ВГВ) и возбуждаемых ими перемещающихся ионосферных возмущений электронной концентрации (ПИВ) на высотах F-слоя ионосферы для условий, близких к реальным в слое F, в предположении, что источник возмущений имеет импульсный характер. С учетом слабой нелинейности на высотах F-области из системы уравнений гидродинамики для нейтрального газа получено уравнение, являющееся обобщением уравнения Кадомцева-Петвиашвили для скорости нейтральной компоненты, которое описывает солитоны ВГВ и нелинейные волновые пакеты со структурой, зависящей как от значений основных ионосферных параметров, являющихся функциями времени и пространственных координат, так и от типа возмущения, а следовательно, и от типа источника. Для изучения возбуждения солитонами ВГВ средне- и крупномасштабных ПИВ в систему уравнений было также включено уравнение непрерывности для электронной концентрации в F-слое с учетом магнитного наклонения и процессов амбиполярной диффузии, ионизации и рекомбинации.

Полученная система решалась аналитически и численно с учетом зависимости коэффициентных функций от координат и времени, включая наиболее интересные случаи, когда имеет место их резкие пространственные градиенты. В частности, были рассмотрены фронтальные области солнечного терминатора и пятна солнечного затмения. Полученные результаты описывают динамическую структуру, эволюцию и трансформацию ВГВ и ПИВ на высотах F-слоя ионосферы, включая ее сильно неоднородные области.

Dynamics of the solitary internal gravity waves and travelling ionospheric disturbances at heights of the F-region of ionosphere

V.Yu. Belashov[1] (vybelashov@yahoo.com), E.S. Belashova[2]
[1]Kazan (Volga region) Federal University, 18 Kremlyovskaya str., Kazan, Russia
[2]A.N. Tupolev Kazan National Research Technical University, 10 K. Marksa str., Kazan, Russia

We study the dynamics of the solitary nonlinear internal gravity waves (IGW), as well as traveling ionospheric disturbances (TID) of the electron density excited by them at the heights of the ionosphere's F-region, for conditions close to those of the F-layer assuming that the source of initial perturbation has the pulse character. Taking into account the weak nonlinearity at heights of the ionosphere F-region, from the hydrodynamic equations for the neutral gas we obtain the equation which is the generalization of the KP equation for the velocity of the neutral component and describes the nonlinear IGW solitons and nonlinear wave packets with the structure determined by both the values of ionospheric parameters which are the functions of space coordinates and time, and the sort of perturbation and accordingly the type of source as well. To study the excitation by the IGW solitons of the middle- and large-scale TID for the conditions close to those in the F-layer, we include also the continuity equation for electron density (with due account of magnetic inclination and the processes of ambipolar diffusion, ionization and recombination) into the full set of the equations.

We solve the obtained set of the equations analytically and numerically taking into account the dependence of the coefficient functions on coordinates and time, including the most interesting cases when the sharp gradients of them take place. As particular cases we consider the frontal regions of the solar terminator and solar eclipse. The results obtained describe the dynamical structure, evolution and transformation of the IGW and TID at heights of the ionosphere F-layer including its strongly heterogeneous regions.

Численное моделирование влияния стационарных мезомасштабных орографических волн на меридиональную циркуляцию и потоки озона во время стратосферных потеплений в средней атмосфере

Коваль А.В.[1](koval_spbu@mail.ru), Гаврилов Н.М.[1], Погорельцев А.И.[2], Савенкова Е.Н.[1]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

[2]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время многие модели глобальной циркуляции атмосферы имеют техническую возможность воспроизводить меридиональную и вертикальную циркуляции, а также потоки озона в средней и верхней атмосфере. В текущем исследовании мы проводим численное моделирование с целью исследования влияния внезапных стратосферных потеплений (ВСП) на формирование меридиональных и вертикальных циркуляционных потоков во время зимнего сезона в северном полушарии.

Для исследования зависимости динамики атмосферы и потоков озона от распространения мезомасштабных орографических гравитационных волн (ОГВ) во время событий ВСП, мы использовали численную модель глобальной циркуляции средней и верхней атмосферы (МСВА) с включенной параметризацией динамических и тепловых эффектов ОГВ, вызванных топографией земной поверхности. Трехмерное распределение озона было задано в модели в виде сочетания трех полуэмпирических моделей распределения озона. Мы также исследовали соответствующие изменения в вертикальном переносе озона в средней атмосфере.

Наши расчеты в модели МСВА без учета параметризации показали, что в течение ВСП происходит ослабление и разворот направленного вниз потока озона вблизи северного полюса и 30-процентное ослабление потока на широтах 30 –45 с.ш. на высотах ниже 50 км. Кроме того, эта тенденция сохраняется в случае учета параметризации ОГВ. Во время события ВСП наблюдается ослабление меридиональной циркуляции в обоих случаях (с и без ОГВ) на больших высотах.

Numerical simulation of the influence of stationary mesoscale orographic waves on the meridional circulation and ozone fluxes during a stratospheric warming in the middle atmosphere

Andrey V. Koval[1] (koval_spbu@mail.ru), Nikolai M. Gavrilov[1], Alexander I. Pogoreltsev[2], Elena N. Savenkova[1]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*

Nowadays many atmospheric global circulation models have technical feasibility to reproduce meridional and vertical circulation as well as ozone fluxes in the middle and upper atmosphere. In the current study, we perform numerical simulation with a view to study the impact of sudden stratospheric warmings on the formation of meridional and vertical circulation fluxes during winter season in the northern hemisphere.

To study the dependence of the atmospheric dynamics and ozone fluxes on mesoscale orographic gravity waves (OGWs) propagation during SSW events, we used the numerical model of global circulation of the middle and upper atmosphere (MUAM), with implemented parameterizations of dynamical and heating effects of OGWs generated by the Earth’s topography. A three-dimensional ozone distribution was set in the model as a combination of three semiempirical ozone distribution models. We also studied respective changes in vertical ozone transport in the middle atmosphere.

Our calculations using the MUAM model without OGW parameterization have shown that during the SSW there is the reverse of the downward ozone flux near the north pole and the 30% weakening of the flux at latitudes 30 –45 N at the altitudes below 50 km. Moreover, this trend continues for the case of OGW parameterization. During the SSW event the weakening of meridional winds in both cases (with and without OGW) can be observed at high altitudes.

Powerful forest fires and atmospheric processes

P.M. Nagorsky[1] (npm_sta@mail.ru), I.I. Ippolitov[1], M.V. Kabanov[1], K.N. Pustovalov[1], S.V. Smirnov[1], V.S. Yakovleva[2]

1Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academichesky ave., 634055 Tomsk, Russia

[2]National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia

In the problem of the aerosol effect on climate system, situations with the haze have a great importance during the summer forest and peat fires, regularly appearing in various regions of the globe and released into the atmosphere large amounts of smoke aerosols, trace gases and water vapor in the atmosphere [1, 2]. Registration of variations in atmospheric-electrical and meteorological parameters, as well as natural radioactivity was carried out in the framework of comprehensive monitoring by IMCES SB RAS and the TPU during prolonged forest fires in 2012 in West Siberia. We have also recorded the incoming solar radiation in the visible and 5 bands in the ultraviolet range and meteorological visibility (http://rp5.ru). In the periods of maximum smoke formation the meteorological visibility (S_m) reduced down to a few hundred meters.

First, the effect of daily inversions of the electric field varying from 300 V/m or more in the daytime to – 300 V/m at night was discovered [2]. During the maximum smoke at night, the inversion of the electric field direction is observed, in the daytime the inversion is destroyed. The reason of inversion is that the boundary layer becomes an active troposphere accumulator of water vapor due to accelerated absorption of solar radiation by smog aerosol [1]. Identified diurnal variations of the field strength are radically different from the diurnal variations in the field strength over the oceans and from the variations of the mid-latitudes E field in summer.

The smoke and the associated reduction of S_m result in a corresponding decrease in the flux of solar radiation in the visible and UV radiation ranges. The flux in the visible range of the solar radiation can reduce to 30%, for waves with lengths less than 340 nm it can drop to 5%. Falling of S_m leads to a consistent decrease in the level of α-background. For β- and γ-background, a smooth increase of the background level in the interval of intense smoke was observed. The formation of mesoscale cyclonic vortex with lack of cloud cover typical for cyclones during smog was revealed over the territory of Western Siberia. According to the satellites Aqua and Terra (MODIS) data, the accelerated heating of the troposphere leads to the decrease of the earth's surface temperature over the territory covered by mesoscale smog cyclonic vortex.

In general, the obtained results indicate a very strong influence of forest fires on the variability of electrophysical and meteorological parameters in the troposphere. The fundamental importance of the observed effects is related to the role which the atmospheric-electrical field plays in the formation of weather conditions and biosystems processes.

This study was supported by the federal program, the project № 2014-14-576-0165.

1. Sitnov S.A., Mokhov I.I. Water vapor content in the atmosphere over the European part of Russia during the summer fires in 2010 // *Atm. Oceanic Phys.* 2013. V. 49. № 4. P. 414–429.
2. Ippolitov I.I., Kabanov M.V., Nagorskiy P.M. et al. Diurnal variation of the electric field within the plumes from forest fires // *DAN*. 2013. V. 453. № 2. P.207–210.

О влиянии динамических процессов в атмосфере на глобальные характеристики **D**-слоя ионосферы по данным совместной модели общей циркуляции тропосферы-стратосферы-мезосферы и плазмохимии

Кулямин Д.В. (kulyamind@mail.ru), Дымников В.П.
Институт вычислительной математики РАН, Губкина *8, 119991* Москва, Россия

В докладе рассмотрена проблема моделирования глобального состояния D-слоя ионосферы и роль атмосферной циркуляции в формировании его пространственных и временных характеристик. Представлена совместная модель тропосферы-стратосферы-мезосферы и плазмохимии (для высот 0–90 км). Она основана на трехмерной модели общей циркуляции атмосферы с гибридной вертикальной координатой системе координат (горизонтальное разрешение 2°x2.5°, 80 вертикальных уровней), являющейся блоком климатической модели Института вычислительной математики (ИВМ РАН). В качестве фотохимической модели D-слоя ионосферы взята простая пятикомпонентная модель. Для численной реализации плазмохимического блока в совместной модели разработана эффективная полунеявная численная схема.

Проведен анализ воспроизведения среднего состояния D-слоя ионосферы в совместной модели общей циркуляции атмосферы, получены количественные оценки относительной роли характеристик нейтральной атмосферы в формировании глобального распределения электронной концентрации. Показано, что среднее состояние и изменчивость D-слоя ионосферы для данной модели, по существу, определяется полем температуры; вариации рассчитываемого поля влаги малы и играют существенную роль в отдельных областях. При этом чувствительность величины концентрации электронов к вариациям температуры сравнима с чувствительностью к изменениям источников ионизации (солнечного излучения).

На основе моделирования показано, что процессы переноса и диффузии заряженных компонент не играют существенной роли в формировании состояния D-слоя ионосферы (как в дневное, так и в ночное время). В то же время значительное влияние циркуляционных процессов на глобальные характеристики D-слоя в нейтральной атмосфере прослеживается как через вариации поля температуры, так и через изменчивость распределений концентраций нейтральных составляющих (ионизуемая окись азота и др.). В ходе работы проведена идентификация модели на основе прямого подхода по данным локальных измерений и эмпирических моделей вертикальных профилей электронной концентрации. Рассмотрена проблема распространения радиоволн в D-слое ионосферы, проведена идентификация модели на основе данных о поглощении коротких радиоволн и мониторинга радиосигнала на длинных и сверхдлинных волнах. Показано удовлетворительное воспроизведение климатических характеристик D-слоя ионосферы и возможность развития представленной модели для применения в прикладных задачах.

Исследование выполнено в ИВМ РАН в рамках гранта Российского научного фонда (проект №14-27-00126).

On the effect of the atmospheric dynamical processes at the global characteristics of the ionosphere D region according to the coupled troposphere–stratosphere–mesosphere general circulation and plasma chemistry model.

D.V. Kulyamin (kulyamind@mail.ru), V.P. Dymnikov
Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin st., 119991 Moscow, Russia

The report deals with the problem of modeling the global state of the ionosphere D region and the role of atmospheric circulation in the formation of its spatial and temporal characteristics. A coupled model of the troposphere-stratosphere-mesosphere and plasma chemistry (for 0–90 km altitudes) is presented. The model is based on the three dimensional atmospheric general circulation model with a hybrid vertical coordinate (horizontal resolution of 2°x2.5°, 80 vertical levels), which is used as the Institute of Numerical Mathematics (INM RAS) climate model atmospheric block. A

five-component model is taken as a photochemical model for the ionosphere D region. For the numerical implementation of local plasma chemistry block in the coupled model an efficient semi-implicit numerical scheme is developed.

The reproduction of the ionospheric D region mean state in a coupled atmospheric general circulation model has been analyzed and the relative role of the neutral atmosphere characteristics in the formation of the global electron density distribution was quantitatively estimated. It has been indicated that the mean state and variability of the ionospheric D region for this model substantially depends on the temperature field and the variations in the calculated moisture field are insignificant and are substantial only in local spatial areas. At the same time a sensitivity of the electron density value to the temperature variations is comparable with the sensitivity to ionization sources changes (solar irradiance).

The processes of charged component transfer and diffusion are inessential in the formation of the ionospheric D region global state (both during the day and at night) according to the model results. At the same time, a significant impact of a neutral atmosphere circulation processes on the global characteristics of the D region is indicated through the temperature field variations as well as variability of the neutral components concentrations distribution (nitrogen monoxide and others). The model was identified using the local measurements and empirical models data for the electron density vertical profiles. The problem of radio waves propagation in the ionospheric D region was also considered for model identification using of the data on the short HF radio waves absorption and long and super-long (LF and ELF) radiowaves monitoring. It has been indicated that the model satisfactorily reproduces the climatic characteristics of the ionospheric D region and can be further developed for its use in applications.

This work was performed at INM RAS and was supported by the Russian Science Foundation (N.14-27-00126).

О воспроизведении радиационного баланса при моделировании общей циркуляции термосферы

Кулямин Д.В. (kulyamind@mail.ru), Галин В.Я.
Институт вычислительной математики РАН, Губкина *8, 119991* Москва, Россия

В докладе рассматривается проблема моделирования общей циркуляции термосферы. Особое внимание уделено правильному воспроизведению радиационного баланса и исследованию относительной роли радиационных, диссипативных и динамических процессов в формировании глобального состояния термосферы (речь идет о формировании среднего температурного профиля и его временной и структурной изменчивости).

Представлена новая версия глобальной трехмерной модели общей циркуляции термосферы Земли (90–500 км) с высоким пространственным разрешением (2x2.5x80), включающая согласованный расчет радиационных процессов. В основе модели лежит численное решение системы нелинейных примитивных уравнений гидротермодинамики атмосферы, записанных в сферической системе координат с нормированной изобарической вертикальной координатой. На основе простых параметризаций учитываются процессы динамического взаимодействия термосферы и ионосферы, молекулярной диффузии и турбулентного перемешивания. При расчете радиационных процессов учитываются нагрев за счет поглощения крайнего ультрафиолетового (КУФ) излучения (5–105 нм) молекулярным кислородом и азотом, атомарным кислородом; нагрев за счет фотодиссоциативного поглощения в ультрафиолетовых (УФ) полосах Шумана-Рунге (175–205 нм), в континууме Шумана-Рунге (125–175 нм), на линии Лаймана-альфа (121 нм), а также в континууме Герцберга (205–245 нм); для мезосферного озона учитывается поглощение в полосах Хартли (200–300 нм) и континууме Герцберга (205–245 нм). На основе быстрой параметризации рассчитывается радиационное выхолаживание в условиях нарушения локального термодинамического равновесия (в предположении, что основную

роль на этих высотах играет только излучение углекислого газа на фундаментальной инфракрасной полосе 15 мкм).

На основе детального количественного анализа воспроизведения различных составляющих процесса переноса излучения показана определяющая роль нагрева за счет поглощения ЭУФ-излучения в верхних слоях термосферы и баланс нагрева за счет поглощения УФ-излучения кислородом и выхолаживанием за счет инфракрасного излучения углекислого газа в нижних слоях термосферы. Полученные результаты моделирования основных особенностей радиационного баланса хорошо соответствуют общепринятым оценкам. По данным моделирования и аналитических оценок показано, что формирование глобального состояния термосферы по существу определяется соотношением параметров радиационного нагрева и стока тепла за счет молекулярной диффузии, а также условиями на нижней границе с мезосферой. Структура общей циркуляции определяется суточным ходом и балансом меридиональных термических градиентов, ион-нейтрального сопротивления сильного вертикального перемешивания, с превалирующими термическими приливами и суточным ходом. На основе первичной идентификации модели по данным наблюдений и других моделей показано удовлетворительное воспроизведение термического баланса и особенностей общей циркуляции термосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-05-00484-а), поддержке гранта Президента РФ "Ведущие научные школы" НШ-3521.2010.5 и Президентской стипендии (СП-6651.2013.5).

Representation of the radiation balance in the thermospheric general circulation model

D.V. Kulyamin (kulyamind@mail.ru), V.Y. Galin
Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin st., 119991 Moscow, Russia

The report deals with the problem of the modeling of thermospheric general circulation. Particular attention is given to the proper representation of the radiation balance and to the role of radiation, dissipative and dynamical processes in the formation of the thermospheric global state (especially the mean temperature vertical profile and its temporal and structural variability).

A new version of the global three-dimensional thermospheric general circulation model (90–500 km) with high spatial resolution (2x2.5x80) is presented, it includes consistent calculation of radiative processes. The model is based on the numerical solution of a set of nonlinear atmosphere hydrothermodynamics primitive equations, written in a spherical coordinate system with a normalized pressure vertical levels. Processes of dynamical interaction between thermosphere and ionosphere, molecular diffusion and turbulent mixing are considered on the basis of simple parametrizations. In the calculation, the following heating radiative processes are taken into account: the heating due absorption of extreme ultraviolet (EUV) solar radiation (5–105 nm) by atomic oxygen, molecular oxygen and nitrogen; heating due to photodissociative absorption by molecular oxygen of ultraviolet (UV) radiation in Schumann-Runge bands (175–205 nm), in the Schumann-Runge continuum (125–175 nm), in the Lyman-alpha line (121 nm), as well as in the Herzberg continuum (205–245 nm); absorption by mesospheric ozone in Hartley bands (200–300 nm) and the Herzberg continuum (205–245 nm) is also accounted. The radiative cooling processes are calculated on the basis of rapid parameterization scheme in a violation of local thermodynamic equilibrium conditions (under the assumption that the emission of carbon dioxide on the fundamental infrared band (15 μm) plays the main role at lower thermosphere altitudes).

Based on a quantitative analysis of the model reproduction of various radiative transfer components, a defining role of heating by EUV radiation in the upper layers of the thermosphere and the complex balance of the heating by UV radiation and cooling due infrared radiation by carbon dioxide in the lower thermosphere were indicated. These model results of the radiation balance main features are in good agreement with the generally accepted estimates. According to the modeling data and analytical evaluations the formation of the global mean state of the

thermosphere is essentially determined by the ratio of the radiation heating parameters of and heat sink due to molecular thermal conductivity, as well as the lower boundary conditions at the mesopause. The structure of the general circulation is defined by a balance of meridional thermal gradients, ion-neutral drag, strength and strong vertical mixing; a diurnal cycle and the atmospheric thermal tides are prevailed. Based on the primary model identification according to observation and other models data a satisfactory reproduction of the thermal balance and thermospheric general circulation is shown.

This work was supported by RFBR grant (12-05-00484-a), by the President of the Russian Federation grant "Leading Scientific Schools" NSH-3521.2010.5 and the Presidential Scholarship (SP-6651.2013.5).

Атмосферные приливы – источник странных аттракторов погоды на Земле

Гаврилов А.А. (a_a_gavrilov@mail.ru)
НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Россия

С помощью разработанной термогидродинамической модели зарождения и эволюции неустойчивых возмущений в земной тропосфере [1] впервые показано, что Луна может порождать странные аттракторы погоды на Земле. Рассчитанные пространственные и временные масштабы странных аттракторов погоды, обусловленных Луной, позволяют отнести их к классу глобальных метеорологических процессов. С помощью численного моделирования на разработанной модели показано, что незначительные по величине атмосферные лунные приливы могут инициировать зарождение значительных, превышающих их по амплитуде на 2–3 порядка, глобальных возмущений температуры, давления, плотности и скорости ветра в тропосфере обоих полушарий. Построенные широтно-высотные изолинии меридиональных функций тока растущих нестационарных решений наглядно продемонстрировали, что глобальные возмущения, которые инициируют атмосферные лунные приливы, представляют собой цепочку тороидальных (тэйлоровских) вихрей, расположенных в тропосфере по направлению меридиана от одного полюса до другого.

Численные эксперименты показали, что характерное время нарастания амплитуды неустойчивого возмущения обратно пропорционально долготному волновому числу атмосферного лунного прилива, инициирующего это возмущения в зональном потоке. В качестве примера, приведены результаты численных экспериментов по зарождению и эволюции неустойчивого возмущения, инициируемого атмосферным лунным полусуточным приливом. Характерное время нарастания амплитуды для рассматриваемого неустойчивого возмущения меняется от 82 часов зимой до 154 часов летом. Значения квазипериода для неустойчивого возмущения составляет около 18 суток зимой и возрастает до 23 суток летом.

На основании анализа результатов численных экспериментов делается вывод, что порождаемые Луной странные аттракторы, могут в значительной степени формировать земную погоду в среднеширотной и высокоширотной тропосфере обоих полушарий на временных интервалах длительностью больше недели. В заключение подчеркивается, что полученные результаты не имеют мировых аналогов.

1. Гаврилов А.А. Луна – источник странных аттракторов погоды на Земле // В сб. научных статей «Процессы в геосредах». М.: ИПМех РАН, 2014. С. 40–49.

Atmospheric tides are a source of strange attractors of weather on the Earth

A.A. Gavrilov (a_a_gavrilov@mail.ru)
Research and Production Association “Typhoon”, 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia

By using a thermo-hydrodynamic model of origination and evolution of unstable perturbations in the Earth troposphere [1], it is first shown that atmospheric tides can generate

strange attractors of weather on the Earth. Calculated space and time scales of atmospheric tides-related strange attractors of weather allow those to be classified as global meteorological processes.

Numerical modeling shows that weak atmospheric tides can initiate significant global perturbations of temperature, pressure, density and wind speed in the troposphere of the two hemispheres whose amplitudes are two or three orders of magnitude higher than those of the tides. The constructed latitude-altitude isolines of meridional flow functions of increasing nonsteady solutions obviously demonstrate that global perturbations initiating atmospheric tides represent an array of toroidal (Tailor) vortices that are located in the troposphere along the meridian from one pole to the other.

Numerical experiments show that the characteristic time of growth of the amplitude for the unstable perturbations is in inverse proportion to the longitudinal wave number of the atmospheric tide that initiates these disturbances in the zonal flow. The results of numerical experiments for origination and evolution of unstable perturbations initiated by atmospheric lunar semidiurnal tides are given as an example. The characteristic time of growth of the amplitude for the unstable perturbation considered varies from 82 hours in the winter to 154 hours in the summer. A quasiperiod for an unstable perturbation is about 18 days in the winter, attaining 23 days in the summer.

According to the analysis of the results of numerical experiments, it is to be concluded that strange attractors initiated by the Moon can by largely responsible for weather on the Earth in the mid- and high-latitudinal troposphere of the two hemispheres in the time intervals exceeding a week. In conclusion it is emphasized that the results obtained are unique.

1. Gavrilov A.A.. The Moon is a source of strange attractors of weather on the Earth// In the coll. scientific articles "*Processes in Geomedia*". M.: IPMech RAS. 2014. P. 40–49.

Атмосферные блокинги в Западной Сибири: особенности идентификации и долговременная изменчивость

Антохина О.Ю.[1], Антохин П.Н.[1], Девятова Е. В.[2] (devyatova@iszf.irk.ru), Симоненков Д. В.[1], Скляднева Т.К.[1]

[1]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева *1, 634055* Томск, Россия

[2]Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова *126*-а, *664033* Иркутск, Россия

В работе исследованы основные закономерности и долговременная изменчивость событий атмосферного блокирования в Западной Сибири. Для исследования в работе были использованы данные реанализа: NCEP/NCAR (1948–2014 гг.), ECMWF ERA-40 (1958–2002 гг.) и ERA-Interim (1979–2014 гг.) с разрешением 2.5°. В качестве основного критерия для идентификации событий блокирования использовался критерий, предложенный в работе [1]. В качестве дополнительного был использован критерий, разработанный в [2], учитывая, что он основан на других подходах к определению блокингов, можно было ожидать, что его использование даст иные результаты. Кроме того, мы попытались применить подход, предложенный в [2], касающийся определения центральной широты блокирования для критерия [1]. Согласно исследованию [2] для Западной Сибири в среднем центральная широта блокирования находится севернее традиционно используемой (50° с.ш.).

В работе было проведено исследование как для всех блокингов в целом, так и отдельно для находящихся над регионом более пяти суток, которые мы разделили на секторные (блокирования происходили непосредственно в исследуемом регионе, либо когда блокинг захватывал большие площади в т.ч. Западную Сибирь) и граничные, когда блокинг лишь частично находился на территории региона. Такое разделение особенно важно для исследования влияние блокирования на различные аспекты погодных и других аномалий, касающихся, например, условий формирования газового состава атмосферы.

В результате сравнения данных реанализа для основного критерия, оказалось, что, в целом, используемые архивы, показывают довольно схожие результаты в количестве обнаруженных блокингов. Имеются некоторые различия в длительности и пространственном охвате блокингов, но они незначительны. Применение дополнительного критерия показало,

что, в целом, для крупных и длительных блокингов он дает схожие с основным критерием результаты. Отличия для менее продолжительных блокингов нуждаются в более углубленном анализе отдельных случаев. Изменение широты блокирования согласно [2] дало отрицательный результат. Количество блокингов возросло, но в 90% случаев обнаруженные блокинги были фиктивными, остальные 10% действительно оказались связаны с более северным положением блокингов. Вероятно, проблема заключается в том, что основной и дополнительный критерии используют разные подходы к вычислению разности показателей в северной и южной области относительно широты блокирования. Поэтому на данном этапе мы остановились на использовании основного критерия с широтой блокирования 50° с.ш. и данных с разрешением 2.5°.

Повторяемость блокингов, как в общем, так и для секторных событий продолжительностью более пяти суток оказалась наиболее высокой в зимний и летний сезоны; для весеннего и осеннего периодов повторяемость значительно ниже. Что, в общем, хорошо согласуется с результатами большинства исследователей. Поэтому мы исследовали пока только изменчивость повторяемости для зимнего и летнего периодов. Хотя для среднегодовых показателей повторяемости не было выявлено определенных тенденций, интересные результаты были получены для сезонов отдельно. Проанализировав ход повторяемости блокирования с ноября по февраль, условно мы выделили два периода, изменчивость в которые различается. В период ноябрь–декабрь отмечается тенденция к уменьшению числа блокирования, особенно по данным NCEP, в основном за счет 1948–1958 гг. Для периода январь–февраль довольно сложно говорить о трендах определенного знака, т.к. до начала 2000-х наблюдалась тенденция к понижению, особенно усилившаяся с середины 80-х гг.; но начиная с 2005 г. количество блокингов вновь стало возрастать, причем принимая довольно экстремальные значения. Анализ повторяемости блокингов в летний период показал ее уменьшение, но и эта тенденция лучше прослеживается по данным NCEP. Кроме того, так же как и для зимнего сезона, значимость трендов невысока из-за высокой межгодовой изменчивости.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН No4, программы ОНЗ РАН No5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН No35, No70 и No131 , грантов РФФИ No 14-05-00526, No14-05-00590, No14-05-93108. госконтрактов Минобрнауки No14.604.21.0100, идентификационный номер RFMTFIBBB210290, No14.613.21.0013, идентификационный номер RFMEFI61314X0013.

1. Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking // *Tellus*. 1990. V. 42A. P. 343–365.
2. Pelly J.L., Hoskins B.J. A new perspective on blocking // *J. Atmos. Sci.* 2003. V. 60. № 3. P. 743–755.

West Siberian atmospheric blockings: identification and long-term variations

O.Yu. Antokhina[1], P.N. Antokhin[1], E.V. Devyatova[2] (devyatova@iszf.irk.ru), D.V. Simonenkov[1], T.K. Sklyadneva[1]

[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*
[2]*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126a Lermontov str., 664033 Irkutsk, Russia*

In our work we investigate basic regularities and long-term variations in atmospheric blocking events over Western Siberia. For investigation we used re-analysis data NCEP/NCAR (1948–2014), ECMWF ERA-40 (1958–2002) и ERA-Interim (1979–2014) with grid resolution 2.5°. We used the criterion proposed in [1] as the main criterion for identification of blocking events. The criterion proposed in [2] was used as an additional. Because the criterion [2] is based on the other approaches to the definition of blockings it can be expected that its use provides other results. In addition, we have attempted to apply the approach of defining the central latitude blocking proposed [2] to the criterion [1]. According to [2], over Western Siberia the central latitude of blocking on average is located to the north of traditionally used latitude (50° N).

We carried out a separate study for blockings located over the region for more than five days. These blockings we divided into sectoral (blocking occurs in the study region, or blocking captures

large areas including Western Siberia) and boundary (blocking only partially located in the studied region) ones. Such division is important to study the influence of the blocking on the weather, conditions of formation of the atmospheric gas composition, etc.

Comparison of the blocking calculation by the main criterion obtained according to different re-analysis archives showed similar results in the number of detected blocking. There are some minor differences between archives in duration and spatial coverage of blockings. Blocking calculations by additional criterion showed similar results with the main criterion for large and long-term blockings. The differences for less continuous blockings require more detailed analysis of individual cases. It appeared that in Western Siberia, especially in the summer, the best is to use the main criterion for the blocking identification [1] and archived data with a grid resolution 2.5°×2.5°. Blocking calculations based on additional criterion [2], in which the blocking latitude is different, gave negative results. The number of detected blocking grown, but in 90% of cases detected blocking were fictitious, the remaining 10% were real blocking with a northern localization. The reason may be that in the main and additional criteria the different approaches to the calculation of the central blocking latitude are used. We decided to use the main criterion (blocking latitude 50°N) and re-analysis data archives with a grid resolution 2.5°.

The frequency of blocking occurrence a whole and separately for sectoral events longer than five days was the highest in the winter and summer seasons that agrees well with the results of most researchers. Therefore, we primarily do the study of long-term variability in the frequency of blocking occurrence in the winter and summer. Analyzing the period from November to February, we divided winter into two intervals with the different character of long-term changes in the frequency of blocking occurrence: early winter (November, December) and late winter (January, February). The early winter is characterized by a tendency to decreasing the frequency of blocking occurrence especially according NCEP/NCAR Reanalysis data. In the second period (January, February) there is a more complex character of long-term changes in the frequency of blocking occurrence – before the beginning of the 2000s there was a tendency to decrease the frequency of blocking occurrence, especially intensified since the mid-80s, then, beginning in 2005, the frequency of blocking occurrence began to grow. Analysis of summer period showed a long-term decrease in the frequency of blocking occurrence. This tendency is especially well marked according NCEP/NCAR Reanalysis data. Note that both for the winter and for summer the significant of trends is not high, because of the high interannual variability.

This work was supported by Presidium of the Russian Academy of Sciences (Program No. 4), the Branch of Geology, Geophysics and Mining Sciences of RAS (Program No. 5); interdisciplinary integration projects of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science No. 35, No. 70 and No. 131; State contracts of the Ministry of Education and Science of Russia No. 14.604.21.0100 (RFMTFIBBB210290) and No. 14.613.21.0013 (RFMEFI61314X0013); and Russian Foundation for Basic Research (grants No. 14-05-00526, No. 14-05-00590, No. 14-05-93108).

1. Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking // *Tellus*. 1990. V. 42A. P. 343–365.
2. Pelly J.L., Hoskins B.J. A new perspective on blocking // J. *Atmos. Sci.* 2003. V. 60. № 3. P. 743–755.

О горизонтальной асимметрии струйных течений в атмосфере Земли

Калашник М.В.[1] (kalashnik-obn@mail.ru), Нерушев А.Ф.[1], Ивангородский Р.В.[2]
[1]НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Россия
[2]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

В районах фронтальных зон в верхней тропосфере и нижней стратосфере формируются интенсивные западные струйные течения. Максимальная скорость ветра на оси течения может превышать 100 м/с. После обнаружения струйных течений военными летчиками в конце второй мировой войны были выполнены экспериментальные исследования особенностей их пространственной структуры [1]. Одна из таких особенностей состоит в асимметрии профиля скорости струйного течения – величина горизонтального сдвига скорости в циклонической (северной) области струи больше, чем в антициклонической

(южной) области. По оценкам [1] характерное значение отношения сдвигов составляет 1.3, но может быть и значительно больше.

Настоящий доклад, состоящий из двух частей, посвящен теоретическому и экспериментальному изучению данной особенности. В первой, теоретической части, показано, что существование горизонтальной асимметрии объясняется развитой в [2] теорией несбалансированного фронтогенеза. Данная теория связывает образование атмосферных фронтов и струйных течений с процессом нелинейного геострофического приспособления. Согласно теории [2], при адаптации из начального распределения фронтального типа в атмосфере формируется система из двух струйных течений – приземного течения восточного направления и западного верхнетропосферного течения. При достаточно сильной нелинейности (больших значениях числа Россби) западное течение имеет ярко выраженную асимметричную структуру с преобладающим сдвигом в циклонической области струи. Получены простые оценки для горизонтального масштаба и скорости струйного течения. Установлена также нелинейная зависимость между этими характеристиками. Согласно этой зависимости, чем больше скорость струйного течения на оси, тем меньше его горизонтальный масштаб.

Во второй части доклада представлен анализ экспериментальных данных о структуре поля скорости верхнетропосферных струйных течений в атмосфере. Эти данные получены с использованием оригинальной методики [3] восстановления поля ветра по известным распределениям поля водяного пара, получаемым с искусственных спутников Земли. К настоящему времени данная методика прошла успешную апробацию. По экспериментальным данным рассчитывались такие характеристики, как площадь струйного течения, максимальная скорость ветра, широта и долгота центра области струйного течения, максимальный градиент (сдвиг) горизонтальной скорости ветра на циклонической и антициклонической сторонах струйного течения. Установлено, что практически во всех случаях отношение соответствующих сдвигов (коэффициент асимметрии струи) превосходит единицу. В отдельных случаях это отношение может достигать 6–8, т.е. асимметрия очень ярко выражена.

Теоретическая часть работы частично поддержана РНФ (проект 14-17-00806).

1. Воробьев В. И. Струйные течения в высоких и умеренных широтах. Л.: Гидрометеоиздат. 1960. 234 С.
2. Kalashnik M.V. Geostrophic adjustment and frontogenesis in the continuously stratified fluid // *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. 2004. Vol. 38. № 1. P. 1–37.
3. Нерушев А.Ф., Крамчанинова Е.К. Метод определения характеристик атмосферных движений по данным измерений метеорологических геостационарных спутников // Исследование Земли из космоса. 2011. № 1. С. 3–13.

On horizontal asymmetry of jet streams in the Earth's atmosphere

M.V. Kalashnik[1] (kalashnik-obn@mail.ru), A.F. Nerushev[1], R.V. Ivangorodsky[2]
[1]*Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia*
[2]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky, 119017 Moscow, Russia*

In the regions of frontal zones in the upper troposphere and lower stratosphere intense western jet streams are formed. Maximal wind speed on the axis of jet can exceed 100 m/s. After the detection of jet streams by military service pilots during the World War II, experimental studies of the peculiarities of their spatial structure were carried out [1]. One of such peculiarities is the asymmetry of a jet profile – the value of the jet horizontal shear in the cyclonic (northern) region of the jet is higher than in the anticyclonic (southern) region. According to the estimates of [1], a typical ratio of the shears makes 1.3, but it can be significantly higher.

The present paper consisting of two parts deals with theoretical and experimental studying of this peculiarity. In the first, theoretical part, it is shown that the existence of horizontal asymmetry is explained by the theory of non-balanced frontogenesis developed in [2]. The theory connects the formation of atmospheric fronts and jet streams with the process of nonlinear geostrophic adjustment. In view of theory [2], at adjustment from the initial distribution of the frontal type, a

system of two jets – the near-surface eastern jet and the western upper-tropospheric jet – is formed. At rather strong nonlinearity (high Rossby numbers), the western jet has a most clearly defined asymmetric structure with a prevailing shear in the cyclonic part of the jet. Simple estimates for jet horizontal scale and speed were obtained. A nonlinear dependence between these characteristics was also found. By this dependence, the higher the speed on the axis, the less is its horizontal scale.

The second part of the paper presents an analysis of experimental data on the structure of upper-tropospheric jets in the atmosphere. The data were obtained with the use of an original method [3] of wind field reconstruction from known distributions of water vapor fields inferred from the space satellites. Up to now, this method has been successfully tested. Such characteristics as jet stream area, maximal wind speed, latitude and longitude of jet center, maximal gradient (shear) of horizontal wind speed at the cyclonic and anticyclonic sides of the jet have been calculated .It has been stated that practically in all the cases the ratio of corresponding shears (jet asymmetry coefficient) exceeds unity. In separate cases this ratio can reach 6–8, i.e. the asymmetry is distinctly pronounced.

Theoretical investigation was partially supported by RSF under grant 14-17-00806.

1. Vorobiov V.I. *Jet streams in the high and moderate latitudes*. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1960. 234 pp.
2. Kalashnik M.V. Geostrophic adjustment and frontogenesis in the continuously stratified fluid // *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. 2004. Vol. 38. № 1. P. 1–37.
3. Nerushev A. F., Kramchaninova E. K. Method for Determining Atmospheric Motion Characteristics Using Measurements on Geostationary Meteorological Satellites // *Izv. Atm. Oceanic Phys.* 2011. V. 47. №. 9. P. 1104–1113.

Динамика распространения теплых и холодных поверхностных волн в атмосфере

Смерек Ю.Л. (smerek@mail.ru), Закинян Р.Г., Нечаева О.А.
Северо-Кавказский федеральный университет, ул. Пушкина *1, 355000* Ставрополь, Россия

При анализе поверхностных планетарных волн в приближении мелкой воды [1, 3], под волнами понимается распространение возмущений изобарической поверхности. Характерное значение скорости распространение барических возмущений в атмосфере порядка двадцати метров в секунду. Для решения поставленной задачи исходными являются уравнение движения идеальной жидкости в неинерциальной системе отсчета, с учетом вращения Земли [1–4] и уравнение неразрывности, записанные для состояния статики в проекциях на декартовы оси координат, ось OZ которой направлена по вертикали. В теории линейных поверхностных волн используются указанные выше линеаризованные уравнения, к которым добавляется уравнение поверхности, представляющее собой возмущение первоначально горизонтальной изобарической поверхности. При этом вертикальная составляющая скорости у плоской поверхности земли (без учета орографии) равна нулю. Таким образом, отличие полученной системы уравнений от выражений, приведенных, в частности, в [3], заключается в учете зависимости плотности воздуха от функции перегрева.

В результате математических преобразований выражений получено дисперсионное соотношение для частоты планетарных волн, из которого следует, что частота колебаний точек поверхности волны зависит от функции перегрева. Из дисперсионного соотношения определяется фазовая скорость волны. Таким образом, мы пришли к известному результату [2, 3], заключающемуся в том, что вращение Земли приводит к появлению дисперсии у поверхностных гравитационных волн. При этом из полученных выражений для скорости волны следует, что для случаев, когда вращением Земли можно пренебречь, в волновое движение вовлекается только лишь переохлажденный за счет адиабатического подъема первоначально теплый у поверхности земли воздух. Также показано, что вращение приводит, с одной стороны, к дисперсии волн, а с другой стороны, к тому, что в волновое движение вовлекается не только переохлажденный на высоте h воздух, но и теплый воздух для длин волн, больших некоторого критического значения. Заметим, что в приближении f-плоскости

нет ограничения сверху для длины волн, т.е. они могут принимать бесконечно большие значения.

Получено выражение для скорости планетарной волны в приближении бесконечно протяженной по высоте атмосферы для волн, длина которых намного меньше толщины атмосферы. В общем случае, из полученных выражений следует, что в волновое движение может вовлекаться не только холодный воздух, но и теплый воздух с длиной волны больше критического значения. Аналогично получено выражение для скорости распространения волн, длина которых намного больше толщины атмосферы (длинных волн). Заметим, что скорость теплой волны меньше, чем скорость распространения холодной волны. Таким образом, учет вращения Земли приводит к дисперсии планетарных волн. Однако в волновое движение может вовлекаться как холодный воздух с произвольной длиной волны, так и теплый воздух, длина волны которого больше критического значения. Причем скорость теплой волны меньше, чем скорость распространения холодной волны.

1. Holton J.R. *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Forth edition. Elsevier. 2004. 540 pp.
2. Nappo C.J. *An Introduction to Atmospheric Gravity Waves*. International geophysics series, vol. 85. Elsevier. 2002. 279 pp.
3. Pedlosky J. *Waves in the Ocean and Atmosphere*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2003. 260 pp.
4. Zdunkowski W., Bott A. *Dynamics of the Atmosphere*. Cambridge University Press. 2003. 719 pp.

Dynamics of the spread of heat and cold surface waves in the atmosphere

Yu.L. Smerek (smerek@mail.ru), R.G. Zakinyan, O.A. Nechaeva
North Caucasian Federal University, 1 Pushkin st., 355000 Stavropol, Russia

When analyze of planetary surface waves in the shallow water approximation [1, 3], waves are understood as the disturbance propagation of the isobaric surface. The characteristic value of the velocity of the propagation of the pressure disturbance in the atmosphere is about twenty meters per second. The basic for solution of the formulated problem is the equation of motion of an ideal fluid in a non-inertial frame of readout, taking into account the Earth's rotation [1–4] and the continuity equation written for the state of statics in the projections on the Cartesian coordinate axis (the axis OZ is directed vertically). In the theory of linear surface waves, the above linearized equations, to which is added the equation of the surface representing the perturbation of the initially horizontal isobaric surface, are used. The vertical velocity component at the flat surface of the earth (without orography) is equal to zero. Thus, the difference of the obtained system from the expressions given, in particular, in [3], is the account for the dependence of density of air on the overheating functions.

As a result of mathematical transformations of the expressions the dispersion relation for frequency of planetary waves, which implies that the oscillation frequency of the surface wave depends on the function of overheating are derived. The phase velocity of the wave is determined from the dispersion relation. Thus, we come to the known result [2, 3], namely – the Earth's rotation leads to the appearance of dispersion from surface gravity waves. Thus, it follows from the received expressions for wave speed that for cases, when rotation of the Earth can be neglected, only the air cooled by adiabatic lift, but originally warm at an earth surface, takes part in the wave movement. It is also shown that the rotation leads, on the one hand, to the dispersion of the waves, on the other hand, to the fact that not only the air supercooled on the height h but the warm air for wavelengths larger some critical value are involved in the wave motion. Note that in the approximation of f-plane, there is no limit for top wavelengths, i.e. they can take infinitely large values.

The expression for the speed of planetary waves in the approximation of infinitely extended along the height of the atmosphere is obtained for waves whose length is much less than the thickness of the atmosphere. In general, it follows form the obtained expressions, that not only cold air, but warm air with a wavelength greater than the critical value may be involved in the wave motion. Similarly, the expression for the velocity of propagation of waves whose length is much greater than the thickness of the atmosphere (long waves) is obtained. Note that the speed of the warm wave is smaller than the propagation speed of the cold wave. Thus, the taking into account

the rotation of the Earth causes the dispersion of planetary waves. However, as the cold air with an arbitrary wavelength, and the warm air, the wavelength of which is greater than the critical value may be involved in a wave motion. Moreover, the speed of warm waves is smaller than the speed of the cold wave.

Сравнительный анализ эмпирических и численных моделей ветра в области мезосферы и нижней термосферы с данными радарных измерений

Савенкова Е.Н.[1] (savenkova.en@mail.ru), Портнягин Ю.И.[2], Соловьева Т.В.[2], Мерзляков Е.Ю.[2], Погорельцев А.И.[3], Гаврилов Н.М.[1], Коваль А.В.[1]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

[2]НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Россия

[3]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время существует достаточно много эмпирических моделей ветрового режима средней атмосферы, но только в некоторых из них учитываются суточные вариации горизонтальной компоненты ветра, которые определяют динамику в области мезосферы и нижней термосферы. При сопоставлении характеристик приливным колебаний ветра в области 80–100 км, полученных на основе моделей Обнинска (построенной на основе радарных измерений) и HWM07 (построенной, в основном, на основе спутниковых и оптических наблюдений) наблюдаются существенные различия в амплитудах суточного и полусуточного приливов, как в зональном, так и в меридиональном ветре. Результаты численного моделирования с использованием модели MCBA лучше согласуются с результатами модели Обнинска, хотя имеется некоторая несогласованность, которая связана, скорее всего, с настройками в численных моделях параметризации эффектов внутренних гравитационных волн и незнанием спектров и пространственных распределений активности этих волн.

Comparative analysis of the empirical and numerical wind models in the mesosphere and lower thermosphere with radar measurements

E.N. Savenkova[1], Yu.I. Portnyagin[2], T.V. Solovyeva[2], E.Yu. Merzlyakov[2], A.I. Pogoreltsev[3], N.M. Gavrilov[1], A.V. Koval[1]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

[2]*Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia*

[3]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 Saint-Petersburg, Russia*

At the present time there are fair amount of global empirical wind models of the middle atmosphere. But only a few of them take into account the diurnal horizontal wind variations that determine dynamical regime of the mesosphere and lower thermosphere. By comparison of characteristics of tidal wind fluctuations in 80–100 km domain, obtained on the base of Obninsk model (that is established mainly on the radar data) and HWM07 model (that is established on the satellite and optical measurements data), substantial differences in the amplitudes of diurnal and semidiurnal tides are observed. These differences are marked as in zonal wind, as in meridional wind fields. The results obtained with the MUAM model are better consistent with the Obninsk model, nevertheless there are some discrepancies, that likely associated with adjustments in the internal gravity waves (IGW) parameterization in numerical models and with lack of knowledge in spectrums and spatial distribution of the IGW activity.

Новые подходы к анализу согласованного поведения климатических процессов с учетом проявлений внешних вынуждающих воздействий

Тартаковский В.А. (trtk@list.ru), Крутиков В.А., Волков В.Ю., Чередько Н.Н., Маркелова А.Н.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр. *10/3, 634055* Томск, Россия

Анализ структуры и динамики климатической системы связан с необходимостью учета нелинейных взаимодействий различных факторов, механизмы и степень воздействия которых на климатообразование также различны. Предложены алгоритмы идентификации и выделения общего сигнала в совокупности средообразующих и климатообразующих процессов на основе оценки степени их согласованности с учетом проявлений внешних вынуждающих воздействий. Синхронность или согласованное поведение природно-климатических процессов – их принципиальное свойство, важнейшее следствие солнечно-земных связей. Процессы на Солнце, движения тел в солнечной системе вносят в изменения параметров разных геосфер циклическую модуляцию, формирующую некоторую согласованность в их динамике. Изменения совокупного внешнего воздействия могут привести систему к переходу в новое качественное состояние. Установленные признаки могут в дальнейшем учитываться при моделировании природно-климатических процессов.

Основная задача подхода состоит в том, чтобы, не делая конкретных предположений о характере процессов различной природы на разных уровнях, отыскать элементы согласованности между рядами данных. Согласованность предлагается определять совпадением существенных признаков, которые надо установить. С этой целью вводятся и выделяются составляющие рядов данных с совпадающими существенными признаками и составляющие с несовпадающими признаками. Мера синхронности составляющих оценивается коэффициентом корреляции. Задача декомпозиции рядов решается путем их сортировки в спектральной области. Применение разработанных алгоритмов максимизирует коэффициенты корреляции составляющих рядов характеристик природно-климатических процессов и, например, солнечной активности, что обеспечивает оптимальное решение задачи декомпозиции, которое будет единственно для заданного набора рядов и выбранного функционального базиса при конкретном уровне шумов и фильтре для их подавления.

Данная вычислительная технология позволяет выделять климатические структуры в полях элементов климата и отслеживать влияние факторов различного масштаба в формировании этих структур с годовым разрешением. В данном случае, согласованное поведение процессов внутри класса является критерием для выделения, а коэффициент корреляции – мерой согласованности.

Приведены результаты анализа полученных пространственных структур в поле температуры приземного воздуха Евразии. В качестве анализируемой характеристики впервые использована фаза рядов приземной температуры. Естественное происхождение фазовой модуляции подтверждено совпадением известных представлений о географии климата с климатическими классами, выделенными путем формирования типовых фаз в итерационном процессе. Кроме того, данный подход использован и оказался эффективным для анализа дендрохронологических рядов, полученных на территориях с оптимальными условиями роста древесной растительности. Основная сложность такого анализа, как известно, связана с плохой согласованностью этих рядов как между собой, так и с измеренными параметрами окружающей среды.

New approaches to the analysis of coordinated behavior of climatic processes taking into account the effects of external forcings

Valery A. Tartakovsky (trtk@list.ru), Vladimir A. Krutikov, Yuriy V. Volkov,
Natalia N. Cheredko, Anna N. Markelova
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academic pr., 634055 Tomsk, Russia

There are problems in modeling climate processes. It is related to the need to the accounting of nonlinear interactions of various factors. We have developed approaches that use physical principles and rules of selection, based on the experience of meteorological analysis. Algorithms for identifying and allocating the general signal are proposed in the aggregate of habitat-forming and climate-forming processes. Those are based on the assessment the degree of their coherence taking into account the manifestations of external forcings. Changes in total external forcings can lead the system to the transition to a new qualitative state result.

Coherence is proposed to determine the coincidence of essential features that need to be installed. To this end, components of data sets with coinciding and with noncoinciding essential features are introduced and allocated. This computing technology allows to allocate the climatic structure in the fields of elements of climate and to monitor the impact of factors of different scale in the formation of these structures with annual resolution. Criteria for selection of classes are synchronous changes of the processes within the class, and the measure of the consistency is the correlation coefficient.

The results of the analysis of the spatial patterns in the surface air temperature of Eurasia are shown. For the first time, the phase of the surface temperature series was used as analyzed characteristic. The natural origin of the phase modulation was validated by the coincidence of known concepts of geography climate with climatic classes allocated by forming the typical phases in the iteration process. This approach has been used and proved to be effective for the analysis of dendrochronological series from areas with optimal conditions for the growth of woody vegetation.

Моделирование влияния фазы КДК на планетарные волны во время внезапных стратосферных потеплений в средней атмосфере

Коваль А.В.[1], Гаврилов Н.М.[1], Погорельцев А.И.[2], Савенкова Е.Н.[1]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия
[2]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

Квазидвухлетние колебания (КДК) зонального потока в приэкваториальной стратосфере могут влиять на условия распространения планетарных волн. События внезапных стратосферных потеплений (ВСП) – важнейшие процессы, влияющие на динамическое взаимодействие тропосферы и стратосферы. Мы провели численное моделирование амплитуд планетарных волн во время событий ВСП для зимних условий в северном полушарии, характерных для западной и восточной фаз КДК. При практической реализации численного эксперимента использовалась модель общей циркуляции средней и верхней атмосферы (МСВА). В этой работе мы рассмотрели изменения амплитуд планетарных волн в средней атмосфере до, во время и после события ВСП для разных фаз КДК.

Результаты моделирования показывают, что во время ВСП амплитуды планетарные волн увеличиваются на высотах выше 50 км и уменьшаются ниже этого уровня. Изменения могут достигать 30% от максимальной амплитуды. После события ВСП наблюдается ослабление стационарных планетарных волн (ПВ). Наиболее сильные потоки Элиассена-Пальма (ЭП потоки) в средней атмосфере создаются планетарной волной с горизонтальным волновым числом m = 1. Повышение m приводит к ослаблению этих потоков. Показано, что вычисленные изменения амплитуд ПВ связаны с изменениями глобальной циркуляции,

особенностями распределения показателя преломления и векторов ЭП потоков при различных фазах КДК. Эти изменения могут существенно влиять на изменения среднего потока и температурных полей, образующих событие ВСП в средней атмосфере. В районе Северного полюса увеличение средней температуры в течение ВСП достигает 20–30 К при восточной фазе КДК и 6–8 К при западной.

Simulating the influence of QBO phase on planetary waves during a stratospheric warming in the middle atmosphere

Andrey V. Koval[1] (koval_spbu@mail.ru), Nikolai M. Gavrilov[1], Alexander I. Pogoreltsev[2], Elena N. Savenkova[1]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*
[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*

The quasi-biennial oscillations (QBO) of the zonal flow in the lower latitudes at the stratospheric heights can affect the propagation conditions of the planetary waves. Sudden stratospheric warming (SSW) events are important processes influencing the troposphere and stratosphere dynamical coupling. We performed numerical simulations of planetary wave amplitudes during SSW events in the north-winter season for the conditions typical for the westerly and easterly QBO phases. The numerical simulations employ a model of general circulation of the middle and upper atmosphere. In this work, we consider the changes in planetary wave amplitudes in the middle atmosphere before, during and after SSW event for different QBO phases.

The results of simulation show that during the SSW event the planetary wave amplitudes increase above 50 km and decrease below this level. The changes reach up to 30% of the maximum amplitude. After the SSW event there is the weakening of the stationary planetary waves (PW) amplitude compared to that during SSW. The largest EP-fluxes in the middle atmosphere are produced by planetary waves with horizontal wavenumber $m = 1$. The increasing of m leads to smaller magnitudes of EP-fluxes. It is shown that computed changes in PW amplitudes are assosiated with modifications of the global circulation, as well as refractive index structures and EP-flux vectors produced by the changes in QBO phases. These changes can alter the mean flow and temperature fields forming SSWs in the middle atmosphere. Near the North Pole the increase in the mean temperature during SSW reaches 20–30 K under the eQBO and is 6–8 K under wQBO.

Амплитудная модуляция полусуточного прилива по данным радиометеорных измерений скорости ветра, выполненных в Обнинске в августе–сентябре 2004–2008 гг.

Трифонов А.Н. (trifonov@typhoon.obninsk.ru), Мерзляков Е.Г., Соловьева Т.В.
НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Россия

В работе представлены результаты наблюдений ветра в мезосфере/нижней термосфере за период август–сентябрь 2004–2008 годов. Наряду с появлением 5–7 суточных колебаний ветра в среднеширотной области МНТ северного полушария регулярно наблюдалась амплитудная модуляция прилива с периодами колебаний, близкими по величине к периодам колебаний в ветре.

Результаты спектрального анализа данных и численного моделирования свидетельствуют в пользу механизма нелинейного взаимодействия между полусуточным приливом и планетарной волной как источника приливных модуляций. С помощью численных расчетов установлена область, где в основном происходит нелинейное взаимодействие прилив-волна.

Semidiurnal tide amplitude modulation as seen by meteor radar in August–September 2004–2008, Obninsk

A.N. Trifonov (trifonov@typhoon.obninsk.ru), E.G. Merzlyakov, T.V. Solovjova
Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk, Russia

The paper presents the results of radar wind observations in the mesosphere/lower thermosphere during the August–September 2004–2008. Along with oscillations in wind of 5–7-day periods tidal amplitude variations of close periods are regularly observed in the mid-latitude northern MLT region.

The results of the data spectral analysis and of numerical simulations give evidences in favor of the mechanism of the nonlinear interaction between the semi-diurnal tide and planetary waves as a source of tidal modulations. Using the numerical calculations the area where the nonlinear interaction mostly occurs is defined.

3D urban flow and dispersion simulation using fluent model

M.H. Memarian (Memarian@yazd.ac.ir), S. Hatami and S.M. Mirrokni
Department of Physics, University of Yazd, Yazd, Iran

Air pollution patterns in urban area are complex mainly due to effect of buildings on air flow. Dispersion of pollutant and production of mechanical turbulent is affected by non-uniform heights of buildings as well as positions of pollutant emission source. Since wind plays a key role in scattering of pollutants; the study of parameters of air flow pattern and distribution of pollutant concentration in a street is interesting.

In this research, 3D flow and gas emission from vehicle exhaust is simulated under wind constant speeds of 5, 10, and 15 m/s around buildings with heights of 40, 50, 55, and 60 meters, by using fluent model. The pollutants are emitted continuously by a point pollutant source in height of 1.5 meter among mentioned buildings. Wind with speed of 5 m/s hits the buildings with height of 60 and 40 meters locating in initial wind trajectory. Assuming the constant flow of wind, pollutants stay between two buildings. The flow with speed of 10 m/s turns around the buildings and a turbulent flow between the buildings in return trajectory is produced. The diffusion trajectory of pollutant toward the buildings with height of 50 meters will change. As speed of wind is increasing to 15 m/s around the source of pollutants and around the buildings, an eddy flow is produced and pollutants get away from the area.

Наблюдение и моделирование акустико-гравитационных волн в верхней атмосфере

Борисова Н.Ю., Андреева Е.С., Воронцов А.М. (am.vorontsov@physics.msu.ru), Куницын В.Е., Падохин А.М.
Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы горы, *119991* Москва, Россия

Источниками формирования акустико-гравитационных волн (АГВ) в верхней атмосфере и ионосфере являются различные процессы в атмосфере и ближнем космосе, некоторые возмущения поверхности Земли и океана, например, землетрясения, взрывы, температурные нагревы, сейши, волны цунами и т.д. Существуют и антропогенные источники АГВ: взрывы, старты ракет, нагревающие ионосферу мощные радиоволны и т.д.

В настоящей работе рассмотрены примеры АГВ, генерируемых такими источниками, как прохождение в океане волны цунами и нагрев ионосферы мощными радиоволнами. Результаты моделирования генерации и распространения АГВ, вызванных прохождением в Тихом океане волны цунами от разрушительного землетрясения Тохоку, подтверждают, что

возмущения уровня моря волной цунами может генерировать осцилляции плазмы, которые формируются АГВ и распространяется вместе с волной цунами. При этом передняя часть протяженной волновой структуры опережает волну цунами, что дает возможность заранее оценивать амплитуду цунами.

При моделировании АГВ, вызванных нагревом ионосферы, получены результаты, иллюстрирующие начальную стадию процесса генерации АГВ, который предшествует распространению внутренних гравитационных волн в горизонтальном направлении. Волны вызваны модуляцией амплитуды нагревной волны. Распространение АГВ в верхней атмосфере порождает вариации и неоднородности в распределении плотности воздуха и электронной концентрации в ионосфере, структура которых может быть реконструирована с использованием спутниковой радиотомографии (РТ), основанной на данных глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS). В экспериментах были использованы данные низкоорбитальных систем (российской COSMOS и канадской e-POP) и высокоорбитальных глобальных навигационных систем GNSS (GPS, GLONASS).

В работе также обсуждаются результаты численного моделирования генерации АГВ поверхностными и объемными источниками. Миллигерцовые АГВ, сформированные этими источниками, инициируют возмущения атмосферы с типичными масштабами в сотни километров на высотах, соответствующих верхней атмосфере и ионосфере. Результаты численного моделирования, основанного на решении уравнений геофизической гидродинамики, хорошо согласуются с данными наблюдений.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 14-17-00637) и РФФИ в части РТ расчетов (грант 13-05-01122).

Observation and simulation of acoustic-gravity waves in the upper atmosphere

N. Borisova, E. Andreeva, V. Kunitsyn, A. Padokhin,
A. Vorontsov (am.vorontsov@physics.msu.ru)
M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, Vorobyevy Gory, 119991 Moscow, Russia

The generation of acoustic gravity waves (AGW) in the upper atmosphere and ionosphere is caused by different processes in the near-space environment and atmosphere, some surface phenomena including long-period vibrations of the Earth’s surface, earthquakes, temperature heating, seisches, tsunami waves, etc. In addition, there are several types of anthropogenic AGW sources including explosions, rocket launches, powerful radio waves that provide the local ionosphere heating and so on.

In the paper analysis of the AGW generation from the tsunami wave propagation in the open ocean and the ionosphere heating by the Sura facility are discussed. The numerical simulation results of AGW generation by the tsunami propagation in the Pacific Ocean from the severe Tohoku earthquake show that oceanic surface perturbations by the tsunami wave can efficiently form AGW-induced ionospheric plasma oscillations propagating along with the tsunami. The front line of the AGW wave packet commonly propagates far ahead from the tsunami wave that allows estimating the tsunami amplitude.

The computer simulation of heating-induced AGW illustrates the initial stage of the AGW generation that precedes the stage of internal gravity waves’ horizontal propagation. Note that in the field experiments at the Sura facility ionospheric waves were caused by the modulation of heating radiowaves. The AGW propagation in the upper atmosphere generates perturbations and inhomogeneities in the air density as well as in the electron concentration in the ionosphere. The structure of AGW perturbations can be reconstructed by satellite radio tomography (RT) based on the signals of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). In the experiments different GNSS are utilized including low-orbiting systems (Russian COSMOS and Canadian e-POP) and the high-orbiting GNSS (GPS, GLONASS).

The numerical modeling results demonstrate that the mili-Hertz AGWs generated by mentioned sources induce atmospheric perturbations with a typical scale of a few hundreds of kilometers at the heights of the middle atmosphere and ionosphere. The numerical modeling based on geophysical hydrodynamics equations in the Euler form is performed that provides good agreement with the observations.

The work was accomplished in the scope of the contract agreement with Russian Scientific Fund (grant No 14-17-00637). The RT computations are supported by Russian Foundation for Basic Research (grant No 13-05-01122).

Влияние ледового покрова в Арктике на изменчивость внетропической циклонической и антициклонической активности: результаты моделирования

Акперов М.Г. (aseid@ifaran.ru), Семенов В.А., Мохов И.И.
Институт физики атмосферы им А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

Проведен анализ изменчивости вихревой активности (характеристик циклонов и антициклонов) над территорией Северной Евразии с использованием расчетов с моделью общей циркуляции атмосферы ECHAM5 с заданными различными режимами концентрации морских льдов в Арктике за холодный период в последние 50 лет. Модельные расчеты выполнены для периодов, соответствующих высокой (1966–1969 гг.), низкой (1990–1995 гг.) и очень низкой (2005–2012 гг.) концентрацией льда, а также для среднеклиматического режима 1971–2000 гг. Длительность каждого эксперимента составляла 50 лет.

Для режимов с высокой и очень низкой концентрации льда в зимний период (с наиболее сильными аномалиями в регионе Баренцева и Карского морей) отмечено статистически значимое увеличение количества долгоживущих антициклонов (время жизни более 5 дней) над Северной Евразией. Для долгоживущих циклонов отмечено уменьшение их количества. При этом на основе модельных расчетов происходит статистически значимое увеличение интенсивных долгоживущих антициклонов. Для долгоживущих циклонов проявляются различные тенденции изменения их количества в зависимости от интенсивности.

Также сделан анализ пространственной изменчивости вихревой активности над Северной Евразией. Отмечено увеличение повторяемости циклонов над центральной частью Европейской территории России (ЕТР) и антициклонов над Северной частью ЕТР для режима с высокой концентрацией морских льдов в Арктике. Для режима с очень низкой концентрацией морских льдов отмечен сдвиг повторяемости циклонов и антициклонов в сторону центральной части России.

The impact of the Arctic sea ice retreat on the extratropical cyclones and anticyclones: atmospheric model simulations

M.G. Akperov (aseid@ifaran.ru), V.A. Semenov, I.I. Mokhov
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

The Arctic region has been warming more than twice as fast as the other parts of the world during the last decades. The rapid Arctic warming is accompanied with the dramatic change of Arctic sea ice cover. Recently, it has been suggested that such climatic changes might have led to the increase of anomalous weather events in winter over Eurasia. One example is anomalously cold spells over Eurasia associated with atmospheric blocking events. However, a large uncertainty remains concerning robustness of the observed relations and associated mechanisms of impact. The main goal of this research is to explore the connection between the declining Arctic sea ice (most strongly expressed in the Barents-Kara Seas region) in cold season and change of cyclonic and anti-

cyclonic activity over Eurasia using simulations with atmospheric general circulation model (AGCM).

The simulations were performed with the ECHAM5 AGCM using identical sea surface temperature climatology but different sea ice concentrations (SIC) for the periods corresponding to the high (1966–1969), low (1990–1995) and very low (2005–2012) SIC regimes in the Arctic as well as for the mean climatological SIC for 1971–2000. The duration of each simulation was 50 years.

For the regimes with high and very low SIC, a statistically significant increase of the number of long-living anticyclones (with lifetime of more than 5 days) over Northern Eurasia was found. Long-living cyclones exhibited different changes in their number depending on their intensity.

The analysis of the spatial patterns of cyclonic and anti-cyclonic activity over Eurasia was performed. We found an increase of the frequency of cyclones over the central region of the European part of Russia (EPR) and anticyclones over the northern region of the EPR for the regimes with a high sea ice concentration in the Arctic. For the regime with very low SIC the shift of the frequency of cyclones and anticyclones towards the central part of Russia was found.

Моделирование траекторий акустико-гравитационных волн в атмосфере

Шевчук Н.О. (n.o.shevchuk@mail.ru)[1], Погорельцев А.И.[2]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия
[2]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

Наблюдения за полем серебристых облаков позволяют определить геометрические характеристики (длина волны, высота наблюдения, азимут распространения) гравитационных волн, дошедших до мезосферы. Использование этих данных в численном моделировании вертикальной структуры гравитационных волн позволяет провести обратную трассировку волн в область тропосферы и определить местоположение источника волны на высотах порядка 5 км. Для вычисления положения источника волны в тропосфере используется методика разделения волн на прямую и отраженную от диссипативной области, основанная на WKBJ-приближении. Существующие теоретически полученные формулы дают возможность оценивать мощность источника гравитационных волн через изменчивость фонового ветра. Проведенный анализ показывает, что в области, определенной путем обратной трассировки волны, действительно существует заметный источник гравитационной волны.

Modelling acoustic-gravity wave trajectories in the atmosphere

Nikita Shevchuk[1] (n.o.shevchuk@mail.ru), Alexander Pogoreltsev[2]
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*
[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*

Noctilucent cloud observations allow us to determine characteristics of gravity wave, monitored in mesosphere (wavelength, observation height, propagation azimuth). The using of these parameters in numerical simulation of vertical structure of gravity wave makes possible wave inverse ray tracing in the troposphere (to the heights of 5 km). We also apply technique, based on WKBJ-approximation, to separate numerical solution to direct and refracted waves. Theoretical formulae give the opportunity to estimate the characteristics of the gravity wave source by space variability of background wind. The results obtained show a good agreement between inverse ray tracing data and the evaluation of source characteristics.

Генерация крупномасштабных возмущений и нагрев термосферы инфразвуковыми волнами, распространяющимися от тропосферных источников

Кшевецкий С.П.[1], Гаврилов Н.М.[2] (gavrilov@pobox.spbu.ru), Карпов И.В.[1], Курдяева Ю.А.[1]

[1]Балтийский федеральный университет им. И. Канта, ул. А. Невского *14, 236041* Калининград, Россия

[2]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Метеорологические процессы в нижних слоях атмосферы могут быть источниками акустико-гравитационных волн (АГВ). Колебания атмосферного давления в широком диапазоне частот, в том числе инфразвуковой частоты, являются свидетельством этих тропосферных источников волн. Мы численно моделируем распространение инфразвуковых волн от тропосферных источников, и наше исследование касается влияния этих волн на атмосферу. Численные эксперименты показали, что инфразвуковые волны малых амплитуд могут распространяться до высот выше 100 км. Волны, распространяющиеся под малыми углами к вертикали, проникают в термосферу, нагревают ее и возбуждают внутренние гравитационные волны.

Численные эксперименты показали, что тропосферные источники с пространственными масштабами в несколько километров могут создавать волновые возмущения в термосфере с пространственными масштабами от десятков до тысяч километров. В течение одного часа температура термосферы может увеличиться на 10 К из-за нагревания инфразвуковыми волнами. Результаты моделирования показали, что инфразвуковые волны, распространяющиеся от тропосферы, могут быть важными источниками нагрева термосферы.

Generation of large-scale thermospheric disturbances and thermosphere heating by infrasonic waves propagated from tropospheric sources

S.P. Kshevetskii[1], N.M. Gavrilov[2] (gavrilov@pobox.spbu.ru), I.V. Karpov[1], Yu.A. Kurdyaeva[1]

[1]*I. Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevskogo str., 236041 Kaliningrad, Russia*

[2]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

Meteorological processes in the lower atmosphere could be the sources of excitation of acoustic-gravity waves (AGWs). Fluctuations of atmospheric pressure within a wide range of frequencies, including infrasonic frequencies are evidence of these tropospheric wave sources. We simulate numerically the propagation of waves from tropospheric infrasound sources, and our study concerns the influences of these waves on the atmosphere.

Numerical experiments have shown that the small-amplitude infrasound waves can propagate without striking manifestations up to altitudes higher than 100 km. Only waves propagating with a rather small angle to the vertical can penetrate to the thermosphere, produce heating, and generate internal gravity waves. Numerical experiments have shown that tropospheric sources with spatial scales of several kilometers are able to create wave disturbances having spatial scales from tens to one thousand kilometers in the thermosphere. During one hour, the thermospheric temperature may increase up to 10 K due to heating by infrasonic waves. The simulations have shown that the infrasonic waves propagated from the troposphere may be a significant source of the thermosphere heating.

Влияние квазидвухлетних колебаний на условия распространения стационарных планетарных волн и их взаимодействие со средним потоком

Лейте Олга (olghaleite@gmail.com), Погорельцев А.И.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196*
Санкт-Петербург, Россия

Исследуется влияние квазидвухлетних колебаний (КДК) на распространение стационарных планетарных волн (СПВ) из тропосферы в стратосферу и дается оценка различию в ускорениях среднего потока под влиянием СПВ при различных фазах КДК. Для расчета распространения СПВ с волновыми числами $m = 1$ и $m = 2$ (СПВ1 и СПВ2) используется линейная модель структуры СПВ. Климатические (осредненные за 2002–2012 гг.) значения СПВ1 и СПВ2 амплитуд и фаз в январе используются как нижние граничные условия. При моделировании структуры СПВ использовались фоновые значения среднего зонального ветра для восточной и западной фаз КДК, рассчитанные с помощью эмпирических моделей UK Met Office и HWM07.

Полученные результаты показывают, что имеется существенное влияние КДК на условия распространения СПВ из тропосферы в стратосферу. Ускорения среднего потока в высоких широтах сильнее под действием восточной фазы КДК.

The influence of the quasi-biennial oscillations on propagation conditions of stationary planetary waves and their interaction with the mean flow

Olgha Leite (olghaleite@gmail.com), Pogoreltsev A.I.
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 Saint-Petersburg, Russia

The influence of the quasi-biennial oscillations (QBO) on propagation conditions of stationary planetary waves (SPW) from the troposphere into the stratosphere is investigated. Difference in the accelerations of the zonal mean flow by the SPW under different phases of the QBO is estimated. The linearized model of the SPW structure is used to calculate the propagation of the SPW with zonal wave numbers $m = 1$ and $m = 2$ (SPW1 and SPW2). The climatic (averaged over 2002–2012) SPW1 and SPW2 amplitudes and phases in January are used as the lower boundary conditions. To simulate the SPW structure the background zonal mean wind for easterly QBO and westerly QBO phases we used outputs the UK Met Office and HWM07 empirical models.

The results obtained show that there is a substantial influence of the QBO on propagation conditions of the SPWs from the troposphere into the stratosphere. It is shown that accelerations of the mean flow at the higher-middle latitudes are stronger under easterly QBO phase.

Влияние нагрева атмосферы при выделении скрытого тепла конденсации на динамические процессы в средней атмосфере

Ермакова Т.С. (taalika@mail.ru), Анискина О.Г., Статная И.А., Погорельцев А.И.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196*
Санкт-Петербург, Россия

На основе данных ретроспективного анализа MERRA была разработана новая параметризация нагрева атмосферы за счет выделения скрытого тепла при конденсации водяного пара. Скрытое тепло конденсации, выделяющееся при конвекции, может быть источником суточных и полусуточных колебаний, которые проявляются больше всего на высотах 80–150 км. Долготные вариации указанного выше нагрева могут влиять на амплитуды стационарных планетарных волн (СПВ) и, в конечном итоге, на динамический режим стратосферы.

Результаты моделирования показали, что учет нагрева за счет выделения скрытого тепла приводит к существенному ослаблению зонального потока в стратосфере, а также к заметному увеличению амплитуды планетарной волны с зональным волновым числом $m = 1$. В результате, при учете скрытого тепла в конце февраля наблюдается ярко выраженное внезапное стратосферное потепление (ВСП) – среднезональный поток в стратосфере меняет направление и наблюдается существенное (до 40 К) увеличение температуры в полярных широтах. Для окончательных выводов необходимы ансамблевые расчеты.

Effect of heating the atmosphere due to the latent heat release on the dynamic processes in the middle atmosphere

Tatiana Ermakova (taalika@mail.ru), Olga Aniskina, Irina Statnaya, Alexander Pogoreltsev
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 Saint-Petersburg, Russia

A new parameterization of heating the atmosphere by the release of the latent heat based on a retrospective analysis of data MERRA is developed. Latent heat released during convection, can be a source of diurnal and semidiurnal oscillations that appear most at altitudes of 80–150 km. Longitudinal variations of the above heating may affect the amplitude of the stationary planetary waves (SPW) and, ultimately, to the dynamic conditions in the stratosphere.

The simulation results has shown that the inclusion of latent heat leads to a substantial weakening of the zonal flow in the stratosphere, as well as a noticeable increase in the amplitude of the planetary waves with zonal wave number $m = 1$. As a result, in late February there is an evident sudden stratospheric warming (SSW) – the mean zonal flow in the stratosphere changes direction and there is a significant (up to 40 K) temperature increase in the polar region. There is need of the ensemble calculations for definitive conclusions. To make a final conclusion, the analysis of ensemble runs has to be performed.

Мифы о глобальной циркуляции атмосферы Земли

Андриеш В.И. (andriesh55@mail.ru)

Любая научная идея и даже целая наука, как живое существо: рождается, живет и умирает. Многие старые научные открытия, теории и догмы не дожили до наших дней (геоцентрическая система мира Птолемея, теплород, философский камень и т.п.), а многие еще влачат свое существование, ожидая своей смерти. Наука о Земле – самая древняя. Она даже древнее астрономии. Ведь, чтобы выжить, первобытные люди были вынуждены веками накапливать знания о природных явлениях, которые передавались из уст в уста. Таким образом, все земные жители волей-неволей были творцами науки о Земле. Когда накопилось достаточное количество фактов (действительных и выдуманных), эти факты постепенно систематизировались и трансформировались в науку. При этом многое из накопленного векового опыта непосредственно перешло в науку, включая мифы, народные поверья, народный эпос и сказки. Так миф о том, что морские приливы вызываются Луной, давно стал научной теорией. Или миф о том, что ветер дует от того, что где-то на земле тепло, а где-то холодно, стал главной идеей современной метеорологии. Или самый популярный миф о том, что ветер вызывает морские течения и морской шторм, вошел в океанологию. Эти и другие мифы, сложившиеся задолго до появления письменности и изобретения колеса, создали фундамент или начало науки о Земле. Хотя еще Пифагор (576–496 гг. до н.э.) предостерегал о том, как важно правильно усмотреть и познать природу начала в вещах. Ибо «если начало взято неправильно, то мы рискуем верностью почти целой науки и всего, что в ней». Однако первобытные представления об окружающей среде, доставшиеся науке в наследство, до сих пор кажутся настолько привычными и наглядными, что никто из современных ученых даже ни разу не усомнился в их истинности.

Мне было уже за сорок, когда я увлекся геофизикой, поэтому я сильно отстал от своих ученых собратьев. Зато в таком возрасте уже не обладаешь той наивностью и детской доверчивостью, когда все напечатанное в книжках принимаешь за «чистую монету». Наверное, это мой преклонный критичный возраст помог мне обрести независимый и не предвзятый взгляд на вещи. В этом году я напечатал небольшую книжку, посвященную вековым проблемам океанологии, метеорологии и гидрологии под названием: «Новая теория приливов», в которой, я надеюсь, мне удалось развенчать все старые мифы, давно прижившиеся в науке о Земле.

The myth of the global circulation of the atmosphere

V.I. Andriesh (andriesh55@mail.ru)

Every scientific idea and even a science, as a living being: it is born, lives and dies. Many of the old scientific discoveries and theories have not survived to our days (the geocentric Ptolemaic system of the world, the calorie, the philosopher's stone, etc.), and many still exist waiting for death. Earth science is the oldest. It is even more ancient than astronomy. After all, to survive, primitive man was forced to adapt to the environment, for centuries, accumulating knowledge about it, and passing them from mouth to mouth. Thus, ancient people participated in the global "experiment" of Nature for survival, and life itself has made a contribution to future Earth science. When a sufficient amount of knowledge (real and imaginary) was accumulated, this knowledge was gradually systematized and transformed into science. A part of this accumulated experience was involved into science, including myths, folk legends, folk epic and even fairy tales. So the myth that the tides are caused by Moon, has long been a scientific theory. Or the myth of the Global atmospheric circulation, which arises from the fact that at the equator is always warm and the Poles are always cold, became the central idea of modern meteorology. Or the most popular myth that the wind excites the sea was entered in oceanography. These and other myths that emerged long before the advent of writing and the invention of the wheel, formed the foundation or beginning of Earth science. Although Pythagoras (576-gg. BC) warned scientists: "how important to see and understand the nature of the beginning of things. For if the beginning is taken incorrectly, we risk the loyalty of almost the whole of science and everything in it". And yet, primitive ideas about the natural environment has occupied a firm place in today's science, and none of the modern scientists still do not even dare to doubt their truth.

I became interested in geophysics, when I was over forty. So I strongly lagged behind my fellow scientists. But compared to them, I had one advantage: it is no child's credibility to the printed word as any printed scientific information people take "at face value". Acquired experience with critical view of things helped me with a completely original point of view to look at many age-old problems of geophysics. In the end, I managed not only to debunk old myths, long-fused with science (there are more than twenty of them), but also to create completely new views about many "known" to us the phenomena of nature, such as ocean currents, tsunamis, tides, wind, cyclones, etc.

Квазидесятилетние вариации среднеглобальных и среднезональных значений общего содержания озона и некоторых параметров нижней стратосферы

Вишератин К.Н. (kvisher@rpatyphoon.ru)
НПО "Тайфун", ул. Победы *4, 249038* Обнинск, Россия

В работе проанализированы фазовые соотношения между квазидесятилетними колебаниями индекса солнечных пятен Ri [1], глобально осредненными, и средне зональными значениями общего содержания озона [2], глобально осредненными и среднезональными значениями температуры, зонального и меридионального ветра и геопотенциальной высоты на уровнях 20, 50 и 100 мб [3]. Небольшие пропуски в рядах общего содержания озона (ОСО) были заполнены с помощью кубической интерполяции. Для оценки фазовых соотношений между квазидесятилетними вариациями (КДВ) в интервале периодов от 8 до 13 лет были использованы Фурье-анализ, кросс-вейвлетный и композитный методы.

Глобально осредненные квазидесятилетние вариации ОСО в 1979–2013 гг. достаточно хорошо согласуются с вариациями СА, при этом фаза максимума КДВ озона опережает фазу максимума СА приблизительно на 0.5–1 год. Анализ среднезональных рядов ОСО показал, что фаза максимума ОСО совпадает с максимумом СА в тропических широтах в интервале примерно 30 S–30 N. В северных широтах (более 50 N) максимумы КДВ ОСО опережают вариации в тропиках на 1–1.5 года, а в южных широтах отстают приблизительно на 1–1.5 года.

Глобально осредненные КДВ температуры и геопотенциальной высоты до 1985 года совпадают с вариациями СА, позднее максимумы КДВ начинают отставать и в 22–23 циклах СА максимумы температуры и геопотенциальной высоты приходятся на ветвь спада СА. В нынешнем 24-м цикле СА вариации температуры и геопотенциальной высоты снова находятся в фазе вариациями СА. Для среднезональных рядов КДВ температуры и геопотенциальной высоты фаза максимума совпадает с вариациями СА в тропиках в 21–23 циклах СА. КДВ зонального и меридионального ветра совпадают с вариациями СА только в отдельных широтных зонах и в ограниченные периоды времени.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 14-05-00127.

1. International Sunspot Number, Royal Observatory of Belgium, http://www.sidc.be/sunspot-data, 1949–2013.
2. SBUV Version 8.6 Merged total ozone data sets, http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/merged/data, 1979–2013.
3. NCEP/NCAR Reanalysis monthly means, http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries, 1949–2013.

Quasidecadal variations of global average and zonal mean values of total ozone and some parameters of the lower stratosphere

K.N. Visheratin (kvisher@rpatyphoon.ru)
Research and Production Association "Typhoon", 4 Pobedy Street, 249038 Obninsk, Russia

Phase relations are analyzed between globally averaged quasidecadal variations of sunspot index Ri [1], and zonal mean values of total ozone [2], globally average and zonal mean values of temperature, zonal and meridional wind and geopotential height at levels 20, 50 and 100 mb [3]. Small gaps in the total ozone time series have been filled with the help of cubic interpolation. The Fourier-analysis, cross-wavelet and composite methods have been used to estimate the phase relations between quasidecadal variations in an interval from 8 till 13 years.

Globally average quasidecadal variations of total ozone in 1979–2013 are well enough agreed with variations of Sun activity (SA) but at the same time phase of ozone maxima outstrip a phase of SA maxima approximately for 0.5–1 year. The analysis of zonal mean total ozone has shown that the phase of total ozone maxima coincides with SA maxima in tropical latitudes approximately from 30 S to 30 N. In the northern latitudes (more than 50 N) total ozone maxima's lead variations in tropics for 1–1.5 year and in the southern latitudes lag behind approximately for 1–1.5 year.

Globally average quasidecadal variations of temperature and geopotential height coincide with the solar activity till 1985. Later temperature and geopotential height maxima start to lag behind and at 22–23 solar cycles the temperature and geopotential height maxima fall to a branch of decline of SA. At present 24th solar cycle temperature and geopotential height are in phase with SA again. Zonal mean temperature and geopotential height maxima coincides with SA variations in tropics at 21–23 cycles of SA. Zonal and meridional wind maxima coincide with solar activity variations only in separate zonal belts and in narrow time intervals.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant № 14-05-00127).

1. International Sunspot Number, Royal Observatory of Belgium, http://www.sidc.be/sunspot-data, 1949–2013.
2. SBUV Version 8.6 Merged total ozone data sets, http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/merged/data, 1979–2013.
3. NCEP/NCAR Reanalysis monthly means, http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries, 1949–2013.

Исследование влияния характеристик приземного слоя и орографии на развитие тепловой конвекции

Данилова Н.Е. (ninochka841@mail.ru)
Северо-Кавказский федеральный университет, ул. Пушкина *1, 355000* Ставрополь, Россия

Тепловая конвекция является, по существу, первопричиной почти всех движений в атмосфере. Прогноз возникновения и особенностей развития конвекции в атмосфере является актуальной научной задачей. Этой проблеме посвящено большое число работ. Однако, существующие методы расчета параметров конвекции основаны на данных многолетних наблюдений и представляют собой статистические зависимости между различными параметрами. Поэтому разработка адекватной математической модели конвекции, описывающей влияние рельефа на ее развитие, является актуальной задачей физики атмосферы.

Орографические особенности влияют на развитие конвекции двумя способами: косвенно – посредством деформации фронтальных зон с последующим развитием барических образований или непосредственно – при перетекании воздушного потока через горные препятствия. В свою очередь, непосредственное влияние орографии может быть двояким – вследствие тепловых влияний, связанных с перегревом и охлаждением склонов, и вследствие динамического воздействия склонов. Термическое влияние орографических препятствий сказывается внутри однородных воздушных масс, когда наблюдаются слабые ветры и малые барические градиенты в нижней части тропосферы. В этом случае при слабом

горизонтальном переносе в атмосфере формируются термические неоднородности, вызывающие днем циркуляцию с восходящими движениями над возвышенностями и нисходящими во впадинах. В ночные часы наблюдается обратная картина. Тепловое влияние гор весьма существенно летом. Оно часто выходит за пределы горных районов и распространяется на предгорные равнинные области, на расстояния до 100 км, где днем за счет нисходящих движений происходит ослабление процессов облакообразования. Динамические воздействия вносят больший вклад в упорядоченные вертикальные движения, развивающиеся в нижних слоях воздуха над склонами гор и прилегающими к ним равнинными областями. У наветренных склонов гор имеет место усиление восходящих движений, у подветренных – нисходящих движений. Интенсивность вертикальных движений зависит от свойств воздушного потока и характеристик хребта. Зоны восходящих и нисходящих движений, порождаемые горными массивами, стационарны. Учет орографии в условиях сложного рельефа позволит дать точный прогноз параметров конвекции, а тем самым спрогнозировать явления, сопровождающиеся интенсивными конвективными процессами.

Произведенный расчет параметров конвекции на уровне конденсации показал, что основными причинами конвекции в сухой (или влажной ненасыщенной атмосфере) являются: а) динамический фактор, обусловленный орографией; б) термический фактор, обусловленный начальным перегревом. Как правило, в атмосфере сверхадиабатические градиенты наблюдается редко или в очень узких слоях атмосферы. Поэтому не они являются основной причиной конвекции в атмосфере. Основные причины конвекции – термические и динамические факторы. Следует обратить внимание еще на одну роль рельефа на развитие приземной и облачной конвекции. Как правило, в приземном слое атмосферы наблюдаются задерживающие слои, обусловленные изотермическими слоями или слоями инверсии. Эти слои являются препятствием для развития конвекции. То есть при некоторых условиях эти слои не пробиваются восходящими потоками воздуха. В этом случае рельеф местности может сыграть роль «пускового механизма», то есть, задав начальный импульс восходящему потоку, способствует пробиванию им задерживающего слоя. А далее, восходящий поток, пробившийся сквозь задерживающий слой, может оказаться в условиях, способствующих развитию облачной конвекции. Из полученных результатов можно сделать вывод, что орография способствует развитию облачной конвекции.

Investigation of the influence of characteristics of the surface layer and orography on the development of thermal convection

N.E. Danilova (ninochka841@mail.ru)
North Caucasian Federal University, 1 Pushkin st., 355000 Stavropol, Russia

Thermal convection is substantially the root cause of almost all movements in the atmosphere. Forecast of the occurrence and characteristics of convection in the atmosphere is the actual scientific task. This problem is the subject of many works. However, existing methods of calculating the parameters of convection based on long-term records and represent statistical dependencies between different parameters. Therefore, the development of adequate mathematical models of convection, which describes the impact of the topography on its development, is an important task of atmospheric physics.

Orographic characteristics influence on the development of the convection by two ways: indirectly – through the deformation of frontal zones and the subsequent development of pressure formations or directly – by overflowing the air stream through the mountainous barriers. In turn, direct influence of the orography may be twofold – due to thermal effects associated with the slope overheating and cooling and due to slope dynamic effects. Thermal effect of orographic barriers is provided inside homogeneous air masses when there are light winds and small pressure gradients in the lower troposphere. In this case in the atmosphere under conditions of the weak horizontal transfer, thermal heterogeneities are formed. In the daytime, these thermal heterogeneities induce

the circulation with upward movements over the hills and downstreams in valleys. At night the opposite picture is observed. The thermal effect of the mountains is very important in the summer. It often goes beyond the mountain and extends to the piedmont plain area, at distances up to 100 km, where processes of cloud formation are weakened due to downward movements. Dynamic effects intensely influence on ordered vertical movements developing in the lower layers of air above the mountain slopes and the surrounding lowland areas. At the windward slopes of the mountains there is a strengthening of upward movement, at the lee – descending motions. Intensity of vertical movements depends on air flow properties and ridge characteristics. Zones of upward and downward movements generated by mountain ranges are stationary. The accounting of orography in complex terrain will allow to give an accurate prediction of convection parameters, and thus to predict phenomena, accompanied by intense convective processes.

Calculations of convection parameters at the condensation level have shown that the main causes of the convection in dry (or wet unsaturated) atmosphere are: a) dynamic factor due to orography; b) thermal factor, due to the initial overheating. As a rule, superadiabatic gradients are observed very rarely and in very narrow atmospheric layers. Therefore, the main reasons of the convection are thermal and dynamic factors. Besides, the relief influences on the near-ground and cloud convection by another way. As a rule, in the atmospheric surface layer backsheets are observed due to isothermal layers or layers inversion. These layers are an obstacle to the development of convection. In this case, the terrain can plays the role of "trigger mechanism" and help to break the backsheet. Further the upward flow may be under conditions promoting the development of cloud convection. From these results it can be concluded that the orography promotes the cloud convection.

Наблюдения вариаций излучения ночного мезосферного озона над Москвой на миллиметровых волнах

Розанов С.Б. (sergroz@sci.lebedev.ru), Завгородний А.С., Игнатьев А.Н.,
Кропоткина Е.П., Лукин А.Н., Соломонов С.В.
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. *53, 119991* Москва, Россия

Представлены результаты наземных измерений вариаций линии излучения ночного мезосферного озона с центральной частотой 142.175 ГГц (длина волны 2.1 мм). Измерения проводились в Москве с помощью нового передвижного озонометра ФИАН [1] в вечерние, ночные и ранние утренние часы в январе–феврале 2014 г. и в феврале–марте 2015 г., преимущественно в ясную погоду. Линия озона регистрировалась в полосе частот 10.6 МГц 50-канальным фильтровым анализатором спектра АС-50, имеющим ширины каналов 0.1–0.6 МГц. Период записи спектров составлял около 2 мин. Угол места антенны озонометра выбирался в пределах 22–32°.

В вечерние часы, после захода Солнца, ожидаемо [2] наблюдалось увеличение интенсивности центрального пика линии озона в каналах анализатора спектра с отстройками частоты в пределах примерно ± 0.5 МГц от центра линии, связанное с увеличением содержания мезосферного озона. Утром интенсивность пика падала, он приобретал более пологую форму. В условиях астрономической ночи в ходе измерений отмечались значительные вариации амплитуды и формы пика линии озона в центральных каналах анализатора спектра. Наблюдаемые изменения яркостных температур достигали 2–4 К за времена 2–20 минут и значительно превышали уровень шума аппаратуры (около 0.7 К). Вариации обычно имели вид либо затухающих квазипериодических колебаний, либо единичных всплесков.

Частотный анализ временных зависимостей разностей яркостных температур ночного озона в каналах АС-50 с отстройками частоты 0–50, 50–150 и 150–250 кГц от центра линии позволил выявить спектральные составляющие вариаций излучения с периодами от примерно 5 мин. до десятков минут. Эти вариации излучения ночного озона могут быть

связаны с распространением внутренних гравитационных волн (ВГВ) в мезосфере и нижней термосфере [3]. Периодические изменения плотности и температуры воздуха в областях прохождения ВГВ модулируют содержание и интенсивность излучения ночного озона на высотах 50–100 км.

Работа поддержана Программами ОФН РАН «Современные проблемы радиофизики» и «Радиоэлектронные методы в исследовании природной среды и человека», а также грантом УНК ФИАН.

1. Розанов С.Б., А.С. Завгородний, С.В. Логвиненко и др. Малошумящий приёмник для микроволновой озонометрии // Изв. вузов. Радиофиз. 2011. Т. 54. № 8–9. С. 708–718.
2. Соломонов С.В., Е.П. Кропоткина, А.И. Семенов. Наблюдение мезосферного озона на миллиметровых волнах // Краткие сообщения по физике. 2001. № 10. С. 31–39.
3. Госсард Э.Э., У.Х. Хук. Волны в атмосфере. М.: Мир. 1978.

Millimeter-wave observations of variations of the night mesospheric ozone emission over Moscow

S.B. Rozanov (sergroz@sci.lebedev.ru), A.S. Zavgorodniy, A.N. Ignatyev, E.P. Kropotkina, A.N. Lukin, S.V. Solomonov

P.N. Lebedev Physical Institute RAS, 53 Leninsky pr., 119991 Moscow, Russia

Results of ground-based measurements of variations of night mesospheric ozone emission line centered at frequency of 142.175 GHz (wavelength 2.1 mm) are presented. The measurements were done in Moscow using new transportable ozone spectrometer (ozonemeter) of LPI [1] in evening, night, and early morning hours in January–February 2014 and February–March 2015, mainly in clear weather. The ozone line was recorded within 10.6 MHz frequency band by 50-channel filter-bank spectrum analyzer SA-50 having channel widths of 0.1–0.6 MHz. Period of the spectra acquisition was about 2 min. Elevation of the ozonemeter antenna was selected within 22–32°.

In the evening hours, after sunset, the increase of the ozone line central spike, as expected [2], was observed for the spectrum analyzer channels with frequency offsets within approximately ± 0.5 MHz from the line center. The increase resulted from the growth of mesospheric ozone content. In the morning the spike intensity decreased, and it became flatter. Under conditions of astronomical night noticeable variations of amplitude and shape of the ozone line spike were detected in the central channels of the spectrum analyzer during the measurements. Observed changes in brightness temperatures reached 2–4 K for 2–20 min. intervals, and noticeably exceeded the instrument noise (about 0.7 K). Usually the variations had the form of damped quasi-periodical oscillations or single bursts.

Frequency analysis of time dependences of brightness temperature differences in the SA-50 channels with frequency offsets 0–50, 50–150, and 150–250 kHz was done for the night ozone. The analysis revealed the spectral components of the emission variations with periods from about 5 min. to tens of minutes. The variations of the night ozone emission may be connected with propagation of internal gravity waves through the mesosphere and lower thermosphere [3]. Periodical changes in air density and temperature in areas of the wave passage modulate content and emission intensity of the night ozone at altitudes of 50–100 km.

The investigation was supported by Programs of Physical Sciences Department of the Russian Academy of Sciences “Modern Problems of Radio Physics” and “Radio-Electronic Methods for Investigations of Environment and Human”, and by Grant from Scientific and Educational Complex of P.N.Lebedev Physical Institute.

1. Rozanov S.B., A.S. Zavgorodniy, S.V. Logvinenko et al. Low-noise receiver for microwave ozone measurements // *Radiophys. Quantum Electron.* 2012. V. 54. № 8–9. P. 638–647.
2. Solomonov S.V., E.P. Kropotkina, A.I. Semenov. Observation of mesospheric ozone at millimeter waves // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. 2001. № 10.P. 31–39 (in Russian).
3. Gossard E.E., W.H. Hooke. *Waves in the Atmosphere*. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Sci. Publ. Comp. 1975.

Оптические наблюдения среднеширотного излучения верхней атмосферы во время магнитной бури **17** марта **2015** г.

Белецкий А.Б. (beletsky@iszf.irk.ru), Михалев А.В., Тащилин М.А., Костылева Н.В., Леонович В.А., Подлесный С.В., Сыренова Т.Е., Татарников А.В., Черепанов В.Б.
Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова *126*а, *664033* Иркутск, Россия

В работе представлены предварительные результаты исследования спектрального состава и пространственного распределения интенсивности собственного излучения верхней атмосферы Земли в период большой магнитной бури 17 марта 2015 г. Исследование выполнено на основе данных, полученных с помощью комплекса оптических инструментов Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (Республика Бурятия, Тункинская долина, (51° с.ш., 103° в.д.)). Использовался комплекс аппаратуры, включающей спектрографы (http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr, http://www.andor.com/spectrograph/shamrock-spectrograph-series/shamrock-303i), широкоугольные оптические системы (http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/keo, http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/color) и интерферометр Фабри-Перо (http://www.keoscientific.com/aeronomy.php).

17 марта 2015 г. во время главной фазы магнитной бури зарегистрировано среднеширотное сияние, сопровождающееся усилением авроральных эмиссий атомарного кислорода [OI] 557.7 и 630 нм и появлением эмиссии NI 520 нм. По данным широкоугольных оптических систем получена пространственно-временная динамика излучения верхней атмосферы, включая цветные изображения и изображения в эмиссии 630 нм. 17 марта 2015 г. в линии 630 нм в течение ~ 5 часов наблюдается стабильное возмущение в виде дуги, ориентированной с запада на восток, и следующими размерами, рассчитанными для высоты ~ 400 км: длина дуги не менее 1000 км (угловой размер 145 – все поле зрения оптической системы), ширина ~ 70 км (угловой размер ~ 10). Возмущение передвигается на юг со средней скоростью ~ 20 м/с. Смещение возмущения по широте хорошо коррелирует с изменением индекса Dst. Скорость смещения и размеры возмущения соответствуют параметрам SAR-дуг [1]. В работе обсуждаются механизмы возбуждения атмосферных эмиссий во время среднеширотного сияния и его особенности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-37-00027) и гранта № НШ-2942.2014.5 Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ РФ.

1. Иевенко И.Б., Алексеев В.Н. Влияние суббури и бури на динамику SAR-дуги. Статистический анализ // Геомагнетизм и аэрономия. 2004. Т. 44. № 5. С. 643–654.

Optical observations of midlatitude airglow during the magnetic storm March 17, 2015

A.B. Beletskiy (beletsky@iszf.irk.ru), A.V. Mikhalev, M.A. Tashchilin, N.V. Kostyleva, V.A. Leonovich, S.V. Podlesny, T.E. Syrenova, A.V. Tatarnikov, V.B. Cherepanov
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126 Lermontov str., 664033 Irkutsk, RussiaIrkutsk, Russia

Preliminary results of an airglow spectral composition and spatial distribution study in a period of the great magnetic storm of March 17, 2015 are presented in the paper. The study was performed on the basis of ISTP Geophysical observatory data obtained through a set of optical instruments (Republic of Buryatia, Tunka valley, 51° N, 103° E). An array of equipments including spectrographs (http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/spectr; http://www.andor.com/spectrograph/shamrock-spectrograph-series/shamrock-303i), wide-angle optical system (http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/keo, http://atmos.iszf.irk.ru/ru/data/color) and Fabry-Perot interferometer (http://www.keoscientific.com/aeronomy.php) was used.

Midlatitude airglow during the main phase of the magnetic storm was recorded March 17, 2015. The midlatitude airglow accompanied by increasing emissions of atomic oxygen [OI] 557.7 and 630 nm and the appearance of emission NI 520 nm. Airglow spatio-temporal dynamics according to wide-angle optical systems is obtained. During geomagnetic storm in the line of

630 nm within ~ 5 hours there is a stable perturbation in the form of an arc oriented from west to east, and with the following dimensions calculated for the height of ~ 400 km: the arc length is not less than 1000 km (the angular size is 145 – the optical system entire field of view), the width is of ~ 70 km (the angular size of ~ 10). The perturbation moves southward with an average rate of ~ 20 m/s. Bias feedforward latitude correlates well with a change in the index of Dst. The rate of displacement and size of the perturbation match the SAR-arcs [1]. This paper discusses mechanisms of excitation of atmospheric emissions during the midlatitude radiance and its features.

This study was supported by the Grant of the Russian Scientific Foundation (Project No. 14-37-00027) and RF President Grant of Public Support for RF Leading Scientific Schools (NSh-2942.2014.5).

1. Ievenko I.B., Alekseyev V.N. Effect of the substorm and storm on the SAR arc dynamics: A statistical analysis // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2004. V. 44. № 5. P. 592–603.

Can we use models to judge which solar spectral irradiance data-set is correct?

E. Rozanov (eugene.rozanov@pmodwrc.ch) and W. Ball
PMOD/WRC and IAC ETHZ, 33 Dorfstrasse, CH-7260, Davos Dorf, Switzerland Davos, Swiitzerland

Ozone layer is responsible for the maintaining the stratospheric temperature and shields the Earth from the damaging ultraviolet (UV) solar radiation. There are also some indications that the variations of stratospheric ozone may influence the weather and climate over the North Atlantic and Europe on decadal timescales. The importance of these effects depends on the magnitude of the solar UV changes, which is not well established due to significant differences between observational data sets. These disagreements lead to different atmospheric responses when different solar UV datasets are used in climate models and, therefore, we still cannot fully characterize ozone variability and its effect on climate.

We use the chemistry-climate model (CCM) SOCOL, in specified dynamics mode, to calculate the atmospheric response to spectral solar irradiance variability from two models (SATIRE-S and NRLSSI) and from SORCE observations. We compare the ozone, temperature and hydroxyl responses with observations and attempt to determine which SSI dataset is most likely to be correct. Our results help to get a better understanding of which SSI dataset should be used in climate models and what is the magnitude of the solar UV variability.

Влияние 11-летнего солнечного цикла на температуру и циркуляцию атмосферы

Груздев А.Н. (a.n.gruzdev@mail.ru)
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. *3, 119017* Москва, Россия

По данным реанализа ERA-Interim за 1979–2013 гг. с помощью метода множественной линейной регрессии получены оценки изменений температуры, геопотенциала и скорости зонального ветра в тропосфере и стратосфере северного и южного полушарий в течение 11-летнего цикла солнечной активности. В регрессионной модели учтены эффекты квазидвухлетней цикличности и продуктов извержения вулкана Пинатубо. Выявлена сезонная зависимость амплитуды и знака откликов указанных атмосферных параметров на изменение уровня солнечной активности.

В окрестности стратопаузы и в средней тропической стратосфере температура во все сезоны увеличивается с увеличением уровня солнечной активности, при этом максимальный эффект ~ 2–3 К в окрестности стратопаузы в течение сезона смещается по широте в высокие широты летнего полушария. Наиболее сильные изменения температуры ~ 5 К в фазе с солнечным циклом отмечены в зимней арктической средней стратосфере. Эффект солнечного цикла над Антарктидой максимален в нижней стратосфере в весенний сезон.

Значительные изменения температуры над полярными областями в эти сезоны указывают на их циркуляционную природу. В геопотенциале, как и в температуре, существенны изменения в фазе с солнечной активностью в слое стратопаузы, но максимальные изменения геопотенциальной высоты, превышающие 200 м, характерны для весенней антарктической стратосферы. В отличие от Антарктики, наиболее сильные статистически значимые изменения геопотенциала в Арктике, причем противоположного знака – в противофазе с солнечным циклом, – выявлены в нижней стратосфере в зимний сезон.

Основной отклик зонального ветра на 11-летний солнечный цикл отмечен в областях верхнетропосферных субтропических струйных течений северного и южного полушарий и в области стратосферного полярного вихря в южном полушарии. Изменения скорости ветра в субтропических струйных течениях в противофазе с солнечным циклом наблюдаются во все сезоны, но их амплитуда испытывает сезонные вариации. Среднегодовые различия скорости ветра в фазах максимума и минимума солнечной активности составляют ~ 1.5 м/с в северополушарном субтропическом струйном течении и ~ 1 м/с в струйном течении южного полушария. Максимальные величины таких различий в обоих полушариях отмечены в декабре–феврале. Они достигают в южном полушарии значений 1.5 м/с, а в северном полушарии 3 м/с и более. Максимальные в течение солнечного цикла изменения зональной скорости ветра в области стратосферного циркумполярного вихря южного полушария, в противофазе с солнечным циклом, в весенний сезон достигают значений 5 м/с. Зимой этот эффект слабее, но зато в этот сезон существенны изменения скорости ветра в фазе с солнечным циклом в среднеширотной средней стратосфере и в верхней стратосфере субтропиков. Таким образом, выявлена зависимость скорости зонального ветра в стратосфере южного полушария от уровня солнечной активности в 11-летнем солнечном цикле. Что касается северного полушария, то здесь эффекты солнечного цикла в скорости ветра слабее. Важным является усиление скорости зонального потока в тропосфере и нижней стратосфере средних широт при высоком уровне солнечной активности.

The influence of the 11-year solar cycle on the temperature and circulation of the atmosphere

A.N. Gruzdev (a.n.gruzdev@mail.ru)
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

The estimates of changes in temperature, geopotential and zonal wind velocity in the troposphere and stratosphere of the northern and southern hemispheres during the 11-year solar cycle are obtained with application of the method of multiple linear regression to data of the ERA-Interim reanalysis for 1979–2013. The regression model takes into account the effects of the quasi-biennial oscillation and the mount Pinatubo eruption. Seasonal dependence of the amplitude and sign of the responses of these atmospheric parameters to the change in the level of solar activity is identified.

The temperature in the vicinity of the stratopause and in the middle tropical stratosphere increases with the level of solar activity in all seasons, with a maximum effect of about 2–3 K drifting with season to high latitudes of the summer hemisphere. The strongest temperature changes of ~ 5 K that are in phase with the solar cycle are observed in winter in the Arctic middle stratosphere. The solar cycle effect over the Antarctic is maximal in the lower stratosphere in the spring season. Significant changes in the temperature over the polar regions in these seasons indicate their circulation nature. Like in the temperature, changes in the geopotential that are in phase with solar activity are essential in the stratopause layer, but the maximum variation in the geopotential height exceeding 200 m is characteristic of the Antarctic spring stratosphere. Unlike in the Antarctic, the strongest statistically significant changes in the geopotential in the Arctic, but in antiphase with the solar cycle, are identified in the lower stratosphere in the winter season.

The primary response of the zonal wind to the 11-year solar cycle is noted in the areas of upper tropospheric subtropical jet streams of the northern and southern hemispheres and in the area

of the stratospheric polar vortex in the southern hemisphere. Changes the velocity of the wind in the subtropical jet streams that are in antiphase with the solar cycle are observed in all seasons, but their amplitude undergoes seasonal variations. The annual mean differences of the wind velocities between the phases of maximum and minimum solar activity are about 1.5 m/s in the northern hemisphere subtropical jet stream and about 1 m/s in the jet stream of the southern hemisphere. The maximum values of the differences in the two hemispheres are noted in December–February. They approach the value of 1.5 m/s in the southern hemisphere and 3 m/s or more in the northern hemisphere. The maximum changes in the zonal wind velocity in the area of the stratospheric circumpolar vortex in the southern hemisphere that are in antiphase with the solar cycle approach values of 5 m/s in spring. In winter, this effect is weaker, but in this season, significant changes in the wind velocity that are in phase with the solar cycle are essential in the midlatitude middle stratosphere and in the upper stratosphere of the tropics. Such way, the dependence of the velocity of the zonal wind in the stratosphere of the southern hemisphere on the 11-year solar cycle is identified. The effects of the solar cycle in the wind velocity in the northern hemisphere are weaker. One important effect is the increase in the velocity of the zonal flow in the troposphere and lower stratosphere of middle latitudes with the increase in solar activity.

Наземный микроволновый мониторинг озона средней атмосферы над Санкт-Петербургом и Томском во время стратосферного потепления зимой **2013–2014** гг.

Куликов Ю.Ю.[1] (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Бочковский Д.А.[2], Виролайнен Я.А.[3], Маричев В.Н.[2], Поберовский А.В.[3], Рыскин В.Г.[1], Тимофеев Ю.М.[3]

[1]Институт прикладной физики РАН, Ульянова *46, 603950* Нижний Новгород, Россия

[2]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева *1, 634021* Томск, Россия

[3]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

В докладе представлены результаты микроволновых наблюдений за поведением озона средней атмосферы над Санкт-Петербургом в ноябре–марте и Томском в декабре–феврале во время стратосферного потепления зимой 2013–2014 гг. В наблюдениях были использованы одинаковые спектрометры миллиметрового диапазона длин волн. Методика измерений спектров озона по собственному излучения атмосферы и их обработка для оценки вертикального распределения O_3 были также идентичными. Каждый микроволновый спектрометр состоял из гетеродинного неохлаждаемого приемника (рабочая частота 110836.04 МГц) и многоканального анализатора спектра. Однополосная шумовая температура приемника составляла 2500 К. Однополосный режим приема обеспечивался запредельным фильтром с прямыми потерями 0.5 дБ и подавлением зеркального канала более 20 дБ. Анализатор спектра состоял из 31 фильтра с полосой пропускания от 1 МГц до 10 МГц и полной полосой анализа 240 МГц. Параметры прибора позволяли измерять за 15 мин спектр линии излучения озона с точностью ~ 2%. Измерения спектров теплового излучения атмосферы выполнялись методом калибровки по двум «чернотельным» эталонам, которые находились при температуре кипения жидкого азота и при температуре окружающего воздуха. Информация о содержании O_3 содержится в измеряемом спектре интегрального радиоизлучения атмосферы. С помощью инверсии получаемых спектров можно получить данные о вертикальном распределении озона (ВРО) в атмосфере. Критерием правильности решения обратной задачи являлось наилучшее соответствие спектральной линии озона, рассчитанной по восстановленному профилю концентрации O_3 с исходным экспериментальным спектром. Погрешность определения ВРО по его измеренным спектрам озона с использованием зональных высотных профилей давления и температуры не превышает 20%.

Массивы данных о вертикальной структуре озона средней атмосферы по наземным микроволновым наблюдениям были сопоставлены с бортовыми данными об общем

содержании озона (OMI/AURA), с микроволновыми данными о высотных профилях озона и температуры в слое 20–60 км (MLS/AURA), а также с данными наземного инфракрасного Фурье-спектрометра Bruker IFS-125HR. В результате данной работы было зафиксировано развитие стратосферного потепления над Санкт-Петербургом с середины января до, практически, конца марта 2014 года. Развитие потепления происходило сверху вниз и самые большие изменения озона (около двух раз) пришлись на высоты 40–60 км, а на высотах 25–40 км эти изменения озона составили 20–50%. Задержка в изменениях озона между «верхом» и «низом» составила две недели. В Томске зимой 2013–2014 гг. не было отмечено динамических процессов, которые бы повлияли на вертикальную структуру озона средней атмосферы. Отметим, что окрестности Санкт-Петербурга расположены существенно ближе к центру зимнего полярного вихря, нежели окрестности Томска.

Ground-based microwave monitoring of middle atmosphere ozone over St. Petersburg and Tomsk during stratospheric warming in the winter of 2013–2014

Yu.Yu. Kulikov[1] (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), D.A. Bochkovsky[2], Ya.A. Virolainen[3], V.N. Marichev[2], A.V. Poberovskii[3], V.G. Ryskin[1], Yu.M. Timofeyev[3]

[1]*Institute of Applied Physics RAS, 46 Ulyanova str., 603950 N. Novgorod, Russia*

[2]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*

[3]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

The report presents results of microwave observations of the ozone behavior in the middle atmosphere over St. Petersburg in November–March and Tomsk in December–February during the stratospheric warming in the winter of 2013–2014. Identical spectrometers for millimeter wavelength range were used in the observations. Measurement of ozone atmospheric radiation spectra and their processing for estimating the vertical distribution of O_3 were also identical. Each microwave spectrometer consisted of an uncooled heterodyne receiver (operating frequency 110836.04 MHz) and multi-channel spectrum analyzer. Single-sideband noise temperature of the receiver was 2500 K. Single-sideband reception mode is provided by the filter (other-wordly wave guide) with direct losses of 0.5 dB and the suppression of the image channel of more than 20 dB. Spectrum analyzer consisted of 31 filters with a bandwidth from 1 MHz to 10 MHz and a full analysis bandwidth of 240 MHz. Parameters of the instrument allowed measurements the spectrum of the ozone emission line with a precision of ~ 2% during 15 min. Measurements of the spectra of thermal radiation was performed by the method of calibration for two "black body" loads that were at the boiling point of liquid nitrogen and ambient temperature. Information about the content of the O_3 is contained in the measured spectrum of the integral radio emission of the atmosphere. Using the inversion of the measured spectra it is possible to obtain data on the vertical distribution of ozone (VDO) in the atmosphere. The criterion of the accuracy of inverse problem solution was the best fit spectral lines of ozone calculated by the retrieved ozone concentration profile to the original experimental spectrum. The error in estimating the VDO on the measured spectra of ozone using zonal vertical profiles of pressure and temperature does not exceed 20%.

The data concerning the vertical structure of ozone in the middle atmosphere from ground-based microwave observations were compared with the satellite data on the total ozone content (OMI/AURA), on vertical profiles of ozone and temperature in the layer of 20–60 km (MLS/AURA), and with data of ground-based FTIR spectrometer Bruker IFS-125HR. As a result of this work the development of the stratospheric warming over Saint Petersburg from mid-January until almost the end of March 2014 was recorded. The development of the warming occurred from the top to down and the biggest change of ozone (about two times) occurred on the heights of 40–60 km and in interval of 25–40 km these changes ozone amounted to 20–50%. The delay in ozone changes between "top" and "bottom" amounted to two weeks. In Tomsk, in the winter of 2013–2014 dynamic processes that affect the vertical structure of ozone in the middle atmosphere were

not observed. Note, that the region surround of St. Petersburg is located significantly closer to the center of the winter polar vortex than the one of Tomsk.

Анализ наблюдаемых временных вариаций и модельная интерпретация аномалий содержания стратосферных газов в северо-западном регионе РФ

Смышляев С.П.[1] (smyshl@rshu.ru), Виролайнен Я.А.[2], Моцаков М.А.[1], Поляков А.В.[2], Тимофеев Ю.М.[2], Поберовский А.В.[2], Меллквист Й.[3]

[1]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

[2]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

[3]*Chalmers University of Technology, SE-412 96 Gothenburg, Sweden*

Рассматривается наблюдаемая изменчивость содержания озона и связанных с ним газов по наблюдениям на станции Петергоф с 2009 по 2014 годы и других пунктах наблюдений. Выделяются особенности сезонной и межгодовой изменчивости, а также аномалии, отмечаемые в отдельные годы. Для теоретической интерпретации наблюдаемых особенностей изменчивости стратосферных газов используется глобальная модель газового состава стратосферы с заданной изменчивостью динамических характеристик атмосферы: полей ветра, температуры, влажности и давления.

Результаты измерений на станции Петергоф и модельных расчетов сравниваются со спутниковыми наблюдениями по региону. Динамические характеристики атмосферы задаются по данным ре-анализа UKMO и MERRA. Исследуется влияние локальных метеорологических условий, трансграничного переноса, поверхностных источников влияющих газов, солнечной активности и изменения температуры поверхности океана и площади его покрытия льдом на содержание стратосферных газов.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 14-17-00096.

Model analysis of the stratospheric gases variability observed in the North-West region of Russian federation

S.P. Smyshlyaev[1] (smyshl@rshu.ru), Ya.A. Virolainen[2], M.A. Motsakov[1], A.V. Polyakov[2], Yu.M. Timofeyev[2], A.V. Poberovskii[2], J. Mellqvist[3]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*

[3]*Chalmers University of Technology, SE-412 96 Gothenburg, Sweden*

The variability of the ozone and related minor gases is studied based on the measurements at the Peterhof station and other points in 2009–2014. Some seasonal and interannual pecularities as well as annual anomalies are tested. A global chemistry transport model with defined dynamics is used for the theoretical interpretation of the observed variability of stratosapheric gases. Among defined dynamical fileds are: wind, temperature, humidity and pressure.

Observations at the Peterhof station are compared to satellite measurements over the region of interest. Dynamical fields are defined based on the UKMO and MERRA reanalysis. The influence of the local meteorological conditions, atmospheric transboundary transport, surface emissions, solar activity, sea surface temperature and sea ice coverage on the stratospheric gases is estimated.

The work is supported by the Russian Scientific Foundation, project № 14-17-00096.

The active space experiments for investigation of ionospheric disturbances

V. Khakhinov (khakhin@iszf.irk.ru), V. Lebedev, D. Kushnarev
[2]*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126 Lermontov str., 664033 Irkutsk, RussiaIrkutsk, Russia*

Active space experiments play a major role in investigating the near-Earth space. To study some geophysical events (e.g., formation, evolution, and dynamics of small- and medium-scale irregularities in the ionosphere), we can use the controllable influence of spacecraft liquid propellant engines (LPE) on space plasma. Such experiments allow us to simulate and initiate natural phenomena accompanying different geomagnetic disturbances; they can also be used for diagnostics of near-Earth plasma. Artificial plasma formations are a probe enabling us to study main characteristics of near-Earth space (magnetic and electric fields, density and temperature of ionospheric plasma, its wave properties, behavior under disturbed conditions). This field of space research has been developing in recent years due to the new experimental opportunities related to advances in space technology and in experimental methods of studying the ionospheric plasma. Each rocket launch is accompanied by the operation of measuring and observation equipment. The results concerning of the ionospheric response to launches of carrier rockets are well known. These are dramatic effects of LPE on the ionosphere; their natural analogues are very rare, while the ionospheric response is measurable and well-studied. The distinctive feature of our active space experiments is the insignificant influence that exhausts (the mass of exhaust products from 2 to 11 kg) have on the ionosphere. The examination of ionospheric plasma response on ejection of small amounts of exhausts is of great interest.

We study formation, evolution, and dynamic behavior of the ionospheric disturbances created artificially at a given time and place. These results play a major role in developing theoretical and mathematical models of the LPE exhaust jets, in its interaction processes with the ionosphere, and in checking the ionospheric models themselves. The experiment sessions were conducted under certain external orbital conditions such as helio-geophysical conditions, and location and orientation of cargo spacecraft in orbit.

Since 2007, Central Research Institute of Machine Building and ISTP SB RAS have been conducting ‘Radar-Progress’ active space experiment (prior to 2010 ‘Plasma-Progress’) aimed at studying space-time characteristics of ionospheric disturbances arising during operation of LPE on board ‘Progress’ cargo spacecraft. Cargo spacecraft is involved in SE in the free flight mode at an altitude of about 350–400 km, after the cargo delivery mission to the International Space Station is completed. Observations are performed at the ISTP SB RAS ground-based radio and optics facilities including Irkutsk Incoherent Scatter Radar (IISR). During the passage through the main IISR beam, one of two propulsion devices is being activated aboard the cargo spacecraft: 8 orientation and mooring engines (total fuel consumption rate is 376 g/s) or 1 approach and correction engine (1 kg/s). Type and duration of the propulsion devices operation vary in each session (from 5 to 11 s), as well as the start local time and direction of exhaust jets. The duration of passage of the cargo spacecraft in the radar beam is 15–20 s. To conduct the experiment, we have selected the following options of the direction of exhaust jets: towards the IISR beam; along the cargo spacecraft motion; against the cargo spacecraft; northward, in the plane of the local horizon of the spacecraft. Note that the ‘towards IISR’ direction is practically along the geomagnetic field lines, whereas other directions are across.

Work has been supported by the grants 13-05-00456, 13-02-00957 of the Russian Foundation for Basic Research.

Исследование долгопериодной изменчивости содержания метана в нижней и средней атмосфере Арктики и Субарктики

Черепова М.В.[1], Макарова М.В.[2], Смышляев С.П.[1] (smyshl@rshu.ru), Поберовский А.В.[2], Парамонова Н.Н.[3], Тимофеев Ю.М.[2], Арабаджян Д.К[2]., Меллквист[4] Й.

[1]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

[2]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская ул. *1, 198504* Санкт-Петербург, Россия

[3]Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

[4]*Chalmers University of Technology, SE-412 96 Gothenburg, Sweden*

Анализируются результаты измерений приземной концентрации и общего содержания метана в полярных и субполярных районах в конце XX–начале XXI веков. Рассматриваются особенности межгодового и сезонного изменения содержания метана и связанных с ним газов по наземным измерениям вблизи Санкт-Петербурга, а также на полярных и приполярных станциях.

Наблюдаемые особенности временной изменчивости содержания метана исследуются с помощью комплекса глобальной и континентальной моделей состава нижней и средней атмосферы. Глобальная модель используется для оценки роли удаленных источников метана в наблюдаемой долгопериодной изменчивости его содержания, а континентальная – для анализа влияния локальных источников и метеорологических условий на содержание метана. В обеих моделях рассматривается изменчивость метана, окиси углерода, гидроксильных радикалов, озона и влияющих на них газов. Глобальная модель имеет разрешение 4 x5 по горизонтали и 31 уровень по высоте, охватывая тропосферу и стратосферу, а континентальная модель охватывает нижнюю стратосферу и тропосферу на 22 уровнях с разрешением 0.5 x0.5 . Биогенные и антропогенные источники метана задаются в качестве потоков с поверхности. Особое внимание обращено на влияние арктических газовых гидратов, таяние которых в результате изменения климата может оказать воздействие на изменение химического состава атмосферы в полярных и приполярных районах. Исследуется значимость обратных связей между изменениями содержания метана и гидроксильных радикалов и их влияние на приземный озон и содержание водяного пара в стратосфере.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 14-17-00096.

A study of methane long-term variability in the low and middle atmosphere for Arctic and Subarctic

M.V. Cherepova[1], M.V. Makarova[2], S.P. Smyshlyaev[1] (smyshl@rshu.ru), A.V. Poberovskii[2], N.N. Paramonova[3], Yu.M. Timofeyev[2], D.K. Arabadjan[2], J. Mellqvist[4]

[1]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*Saint-Petersburg State University, Physics Dept., 1 Ulianovskaya st., 198510 Saint-Petersburg, Russia*

[3]*A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia*

[4]*Chalmers University of Technology, SE-412 96 Gothenburg, Sweden*

The observational data of methane surface concentrations and column abundance are analyzed for the polar and subpolar regions for the end of XX to the early XXI centuries. Interannual and seasonal methane variability and its precursors are investigated based on the surface observations for the polar and subpolar region and Saint Petersburg area.

In order to elucidate CH_4 observed temporal variability a global chemistry-transport model of the low and middle atmosphere and air quality continental model are used. The global model evaluates long-distance CH_4 source and continental model is driven by the local sources and weather conditions. Both models are focused on variability of methane, carbon monoxide, hydroxyl radicals, ozone and different gases effect. The global model has horizontal resolution 4 x5 and 31

vertical levels, which include troposphere and stratosphere, while the continental model covers troposphere and low stratosphere and has the resolution of 0.5 x0.5 and 22 vertical levels up to 10 mb. Biogenic and anthropogenic sources of methane are defined as surface emissions. This research work is focused on the arctic hydrates melting impact on atmospheric chemistry in the polar and subpolar regions. Special attention is given to the methane-hydroxyl radicals feedbacks significance on the surface ozone and water vapor in the atmosphere.

This research work is supported by the Russian Scientific Foundation, project № 14-17-00096.

Месячный прогноз озона для северного полушария с помощью модели ГГО **MEZON/T63L25**

Зубов В.А. (v_zubov@rambler.ru), Матюгин В.А., Мирвис В.М., Львова Т.Ю.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева *7, 194021* Санкт-Петербург, Россия

В докладе представлены описание и результаты тестирования экспериментальной технологии ансамблевого месячного прогноза атмосферного озона для северного полушария. Разработанная технология основана на модельном комплексе Главной геофизической обсерватории (ГГО), состоящем из модели общей циркуляции атмосферы T63L25 и глобальной трехмерной транспортно-фотохимической модели MEZON, которая была адаптирована для месячного прогноза концентраций малых газов в тропосфере и стратосфере. Модельный комплекс позволяет прогнозировать поля озона с месячным и недельным осреднением по времени и горизонтальным разрешением 2.5x2.5.

С помощью разработанной технологии проведена серия из 96 исторических прогнозов за 8 лет (с 2003 г. по 2010 г.). На основе сравнения общего содержания озона (ОСО) из указной серии исторических прогнозов с данными соответствующих спутниковых наблюдений (проект TEMIS) получены оценки систематической погрешности разработанной технологии для каждой ячейки модельной сетки, которые используются в дальнейшем для уточнения прогноза. Модельный комплекс MEZON/T63L25 и основанная на нем технология реализованы на многопроцессорном вычислительном комплексе ГГО, что позволяет в течение 2-х часов реального времени еженедельно рассчитывать 9 прогностических членов ансамбля месячного прогноза озона для северного полушария. По данным за 2014 год представлен анализ результатов прогнозов ОСО и оценка их качества относительно соответствующих спутниковых измерений.

Monthly ozone forecast over the Northern hemisphere by means of the MGO model MEZON/T63L25

V.A. Zubov (v_zubov@rambler.ru), V.A. Matyugin, V.M. Mirvis and T.Yu. Lvova
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

The pilot technology and its testing results for the monthly ensemble forecasting of the atmospheric ozone in the Northern hemisphere are presented. The technology are developed on the base of the model sequence of Main Geophysical observatory (MGO) that consists of the atmospheric general circulation model T63L25 and the global 3D chemistry-transport model MEZON for the monthly projections of the trace species in the troposphere and the stratosphere. The model complex allows us to calculate the monthly and weekly averaged ozone fields with the horizontal resolution 2.5x2.5.

The set of the 96 historical forecasts has been performed with the developed technology for 2003–2010 years. The comparison of the forecasted total column ozone against the relevant data of the satellite measurements (project TEMIS) was used to estimate of the bias technology errors of each grid model cell for the further correction of the monthly ozone forecasting. The forecasting

technology based on the model sequence MEZON/T63L25 are realized on the multi-processing complex of MGO and takes 2 hours of the wall time to calculate weekly 9 ensemble members of the monthly ozone forecasting over the Northern Hemisphere.

The analysis of the total column ozone forecasting and the estimation of its merit against of the relevant satellite measurements are presented for the 2014 year conditions.

Особенности межгодовых изменений вертикального распределения стратосферного озона над Москвой по наблюдениям на миллиметровых волнах

Кропоткина Е.П. (kep@sci.lebedev.ru), Соломонов С.В., Розанов С.Б., Игнатьев А.Н., Лукин А.Н.

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

Представлены новые данные об особенностях межгодовых изменений вертикального распределения стратосферного озона (ВРО) над Москвой в холодные полугодия с 1995 г. по 2014 г. Наблюдения озона выполнены с помощью размещённого в Москве высокочувствительного спектрометра [1] на частотах спектральной линии излучения озона с центром на 142.175 ГГц. Получено, что ВРО испытывает наиболее значительные межгодовые изменения в зимний период. Рассмотрены особенности сезонного хода озона, наиболее выраженные в двух выделенных группах зим (по шесть зим в каждой группе) в декабре–январе. Оказалось, что усреднённый в пределах каждой из этих групп сезонный ход озона характеризуется более высоким содержанием озона C_{O3} в группе А (по сравнению с группой Б) в декабре и более низкими значениями в январе. Различия в сезонном ходе озона между этими группами на уровне 10 мбар в декабре и январе превышают 2 ppm, что составляет около 40% от средних значений C_{O3}. В другие месяцы холодных периодов такие различия в три раза меньше.

Анализ показал, что полугодия, относящиеся к группам А и Б, существенно отличаются друг от друга не только характером изменений озона, но и состоянием стратосферы. Особенностью циркуляции стратосферы для группы полугодий А является существование устойчивого полярного вихря и отсутствие сильных среднезимних возмущений, мажорных стратосферных потеплений. Наоборот, для холодных полугодий, входящих в группу Б, общим является возникновение стратосферных потеплений в январе–феврале. Например, в декабре 2012 г., входящего в группу Б, полярный вихрь смещался к Европе и воздух полярного вихря располагался в стратосфере над Москвой значительную часть декабря 2012 г и в начале января 2013 г., чем объясняется пониженное содержание озона в этот период. Такое перемещение вихря соответствует большой амплитуде планетарной волны с волновым числом $n = 1$. В начале января 2013 г. произошло изменение на противоположное направления зонального ветра, усреднённого вдоль параллели на 60 северной широты на уровне 10 мбар, и разделение вихря на две части. Возникшее при этом стратосферное потепление сопровождалось уменьшением амплитуды планетарной волны с $n = 1$ и увеличением амплитуды волны с $n = 2$. Если до возникновения этого потепления (т.е. в конце ноября и большую часть декабря 2012 г.) в стратосфере над Москвой на уровне 10 мбар располагался воздух полярного вихря с пониженным до 4 ppm содержанием озона и с повышенными значениями потенциальной завихренности, характерными для воздуха вихря, то в результате потепления содержание озона на уровне 10 мбар над Москвой возросло примерно от 4 ppm 29 декабря 2012 г. (до разделения вихря на две части) до 7 ppm, которое наблюдалось 16 января 2013 г. в появившемся в стратосфере над Москвой богатом озоном воздухе области повышенного давления с низкими значениями потенциальной завихренности.

Полученные результаты дают количественную оценку влияния планетарных волн и стратосферных потеплений на озон и могут быть использованы для численного моделирования атмосферных процессов.

Работа поддержана Программами ОФН РАН «Современные проблемы радиофизики» и «Радиоэлектронные методы в исследовании природной среды и человека», а также грантом УНК ФИАН.

1. Соломонов С.В., К.П. Гайкович, Е.П. Кропоткина и др. Дистанционное зондирование атмосферного озона на миллиметровых волнах // Изв. вузов. Радиофиз. 2011. Т. 54. № 2. С. 113–121.

Peculiarities of interannual variations in the stratospheric ozone vertical distribution over Moscow from millimeter-wave observations

E.P. Kropotkina (kep@sci.lebedev.ru), S.V. Solomonov, S.B. Rozanov, A.N. Ignatyev, A.N. Lukin

P.N. Lebedev Physical Institute RAS, 53 Leninsky pr., 119991 Moscow, Russia

New data on peculiarities of interannual variations in the stratospheric ozone vertical distribution (OVD) over Moscow for cold half-years from 1995 to 2014 are presented. Ozone observations were done in Moscow using the high-sensitive radio spectrometer [1] at frequencies of ozone emission line centered at 142.175 GHz. It has been obtained that OVD interannual variations are most significant in winter. Peculiarities of seasonal changes in ozone, most pronounced in two groups of winters (six winters in every group), in December and January, were considered. It was found that averaged within group A seasonal ozone mixing ratio C_{O3} in December was higher than for group B. Otherwise, in January ozone content for group A was lower than for group B. The seasonal differences between the groups at the 10 mbar level in December and January exceed 2 ppm, which is about 40% of monthly averaged values of C_{O3}. For other cold months the differences were three times less.

An analysis showed that half-years of groups A and B essentially differed not only in ozone variations but in state of stratosphere as well. For group A half-years the main feature of stratospheric circulation was the steady polar vortex without strong midwinter perturbations and major stratospheric warmings. Otherwise, for group B the appearance of stratospheric warmings in January-February was typical. For example, in December 2012 (group B) the polar vortex shifted to Europe and the vortex air was in stratosphere over Moscow for considerable part of December 2012 and at the beginning of January 2013. This explains the decreased ozone content for the time. Such movement of the vortex corresponds to the large amplitude of planetary waves with wave number $n = 1$. In early January 2013, the reverse of the zonal wind averaged along 60°N at 10 mbar and the splitting of the vortex into two parts were observed. The resulting stratospheric warming was accompanied by the wave-1 weakening and the wave-2 amplification. Before the warming, at the end of November and for most of December 2012, the polar vortex air with the ozone content decreased to 4 ppm and the increased potential vorticity was located in stratosphere over Moscow at 10 mbar level. As a result of the warming the ozone content over Moscow at 10 mbar increased from about 4 ppm on December 29, 2012 (before the splitting of the vortex) to 7 ppm observed on January 16, 2013 in the high ozone stratospheric air with the higher pressure and the low potential vorticity.

The results obtained provide quantitative assessment of planetary waves and stratospheric warmings influence upon the ozone and may be used for computer simulations of atmospheric processes.

The investigation was supported by Programs of Physical Sciences Department of the Russian Academy of Sciences “Modern Problems of Radio Physics” and “Radio-Electronic Methods for Investigations of Environment and Human”, and by Grant from Scientific and Educational Complex of P.N. Lebedev Physical Institute.

1. Solomonov S.V., K.P.Gaikovich, E.P.Kropotkina et al. Remote sensing of atmospheric ozone at millimeter waves // *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2011. V. 54. № 2. P. 102–109.

Моделирование обратных связей между молниевой активностью, газовым составом и температурой атмосферы

Смышляев С.П.[1] (smyshl@rshu.ru), Мареев Е.А.[2], Галин В.Я.[3]
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия
*2*Институт прикладной физики РАН, Ульянова *46, 603950* Нижний Новгород, Россия
[3]Институт вычислительной математики РАН, Губкина *8, 119991* Москва, Россия

Глобальная химико-климатическая модель используется для исследования влияния молниевой активности на газовый состав и температуру атмосферы с учетом обратных связей. Рассматриваются и сравниваются прямая продукция озона в результате молниевых вспышек и изменение его концентрации из-за химического взаимодействия с образующимися в молниевых каналах окислами азота. Чувствительность температуры к изменчивости молниевой активности оценивается в результате исследования влияния вариаций содержания озона при разных значениях глобальной молниевой продукции окислов азота. Обратные связи между молниевой активностью, содержанием атмосферных газов и температурой атмосферы учитываются путем параметрического учета влияния изменчивости температуры на конвективную активность, верхнюю границу облаков и количество молниевых вспышек. Рассматриваются процессы в тропосфере и нижней стратосфере.

A model study of feedbacks between atmospheric lightning activity, gaseous composition and temperature

S.P. Smyshlyaev[1] (smyshl@rshu.ru), E.A. Mareev[2], V.Ya. Galin[3]
[1]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia*
[2]*Institute of Applied Physics RAS, 46 Ulyanova str., 603950 N. Novgorod, Russia*
[3]*Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin str., 119333 Moscow, Russia*

A global chemistry-transport model is used to study the lightning activity impact on the atmospheric composition and temperature taking into account feedbacks. Direct lightning ozone formation and its variability due to chemical interactions with nitrogen oxides produced in lightning channels are tested and compared. Temperature sensitivity to lightning variability is studied based on the ozone changes in response to global lightning nitrogen oxides production. Feedbacks between lightning activity, gaseous composition and atmospheric temperature are accounting due to temperature impact on the convection, clouds upper height and number of lightning flashes. Processes in the troposphere and low stratosphere are considered.

Модельное исследование обратных связей между грозовой активностью и составом атмосферы

Коломеец Л.И. (liudusik88@mail.ru), Смышляев С.П.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

Молниевая активность создает обширные возбуждения атмосферных полей, вызывая при этом диссоциацию и ионизацию многих атмосферных составляющих. Как известно, молнии являются одним из основных источников окислов азота в тропосфере (по оценкам IPCC глобальная скорость продукции, приходящаяся на грозы, составляет 5 TrN/год в верхней тропосфере). В свою очередь, окислы азота способны вносить значимый вклад в перераспределение химически и радиоактивных газов, которые влияют на температурные поля, а значит, влияют на изменение погоды и климата. Изменчивость погоды и климатических особенностей влияют на распределение грозовых облаков, в результате чего происходит перераспределение частоты молниевых вспышек, которые вносят существенный

вклад в концентрацию оксидов азота. Таким образом, образуются непрерывные положительные и отрицательные взаимосвязи между грозовой активностью, химическим составом атмосферы и изменениями погоды и климата. И региональные, и глобальные эффекты этих сложных цепочек связей влияют на состав и структуру атмосферы.

Окислы азота, генерируемые молниями (LNOx), эффективно влияют на ускорение образования тропосферного озона (к примеру, в летнее время Северный Американский муссон может вносить дополнительно 25–30 ppbv озона в верхнюю тропосферу). Это связано с окислением окиси углерода, метана и других углеводородов. В стратосфере озон, наоборот, начинает разрушаться под действием окислов азота. Эта неоднозначность влияния окислов азота на концентрацию озона вызывает все больший интерес на высотах, соответствующих области между тропосферой и стратосферой (так называемая область UTLS – Upper troposphere/lower stratosphere). При использовании численных моделей прогноза погоды и климата особую роль играет прогноз количества молниевых вспышек, их координаты, распределение по столбу атмосферы и по пространству. Одним из современных достижений в этой области являются онлайн-модели, в которых химический блок решается наряду с физическим.

В настоящей работе речь идет о численных экспериментах, выполненных с помощью модели WRF-Chem (в качестве косвенного показателя подсеточного параметра верхней части облака используется параметризация конвекции Grell-Devenyi, что позволяет оценить влияние скорости образования молниевых вспышек на основе параметризации Price и Rind). Основной задачей настоящей работы является исследование чувствительности атмосферной химии нижней стратосферы и полей температуры к возмущениям, связанным с изменением содержания окислов азота под действием молниевых разрядов. Цель данного исследования заключается в адаптации региональной модели WRF-Chem для выбранного района, в определении относительного вклада LNOx в общую концентрацию NOx, в оценке обратных связей между молниевой активностью, продукцией озона (и других активных газов), температурой и конвекцией. Численные эксперименты показывает особую роль окислов азота на изменение температуры и содержание озона в нижней стратосфере.

Model studies of inverse relations between the light activity and the atmospheric composition

Ludmila Kolomeets (liudusik88@mail.ru), Sergei P. Smyshlyaev (smyshl@rshu.ru)
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia

The Price and Rind lightning parameterization based on cloud-top height is a method for predicting flash rate in global chemistry models. As mesoscale simulations begin to implement flash rate predictions at resolutions that partially resolve convection, it is necessary to adapt this method within such regime. We have implemented the WRF-Chem model parameterizations for lightning flash rate using prescribed IC:CG ratios and the associated resolution dependency by Price and Rind, which are based on the cloud-top height. In our implementation, the cloud-top height is estimated by the level of neutral buoyancy (LNB). Scaling for resolution dependency may be performed by areal ratio against a base-case resolution, defined as that producing 1 storm per grid within the domain of interest. Lower stratosphere is sensitive to changes of NOx concentrations. Since sources of LNOx are far from surface, temperature fields begin to react up then 300 hPa. Of interest to this study is NO, NO_2, O_3 mixing ratios, passive tracer array in addition to the NO source. NO and NO_x initial mixing ratios are relatively high near the surface, low in the mid troposphere and moderately hight in the UTLS (upper troposphere/lower stratosphere) region. This increase is caused by pressure dependence in the NO production. Simulation results show, that surface concentrations are higher relative to altitude of 8–10 km. O_3 mixing ratios are fairly constant with height to 10–12 km m.s.l. where mixing ratios increase into the stratosphere. Comparisons of O_3 fields with and without additional sources of LNO_x prove that lightning activity effects O_3 production.

Роль заряженных частиц в фотохимии полярной стратосферы

Беликов Ю.Е. (yury_belikov@mail.ru) и Николайшвили С.Ш.
Институт прикладной геофизики им. Ак. Е.К. Федорова, Ростокинская ул. *9, 129128* Москва, Россия

На основе анализа опубликованных результатов экспериментов в полярных регионах обосновывается новый взгляд на фотохимические процессы в полярной стратосфере. Показана тесная связь этих процессов с электрическими и конденсационными явлениями в стратосфере, в частности, с накоплением заряженных частиц на верхней и нижней границах полярных стратосферных облаков, как результат работы глобальной электрической цепи. Дипольное взаимодействие молекул с заряженными частицами, в основном с ионами, приводит к прилипанию и распаду ряда молекул, включая озон. Дополнительная энергия, приобретаемая молекулами на поверхности заряженных частиц, допускает возможность протекания таких реакций, которые невозможны в пространстве.

The role of charged particles in the photochemistry of the polar stratosphere

Yu.E. Belikov (yury_belikov@mail.ru) and S.Sh. Nikolayshvili
E.K. Fedorov Institute of Applied Geophysics, 9 Rostokinskaya str., 129128 Moscow, Russia

Our analysis of the published results of experiments in Polar Regions substantiates a new view on the photochemical processes involved in the polar stratosphere. We demonstrate the close connection of these processes with electrical and condensational phenomena in the stratosphere, in particular, with the accumulation of charged particles on the upper and lower boundaries of polar stratospheric clouds as the result of the activity of the global electric circuit. The dipole interaction of molecules with charged particles, primarily with ions, leads to the adhesion and disintegration of a number of molecules including of ozone. Molecules acquire additional energy on the surface of the charges particles, enabling reactions that are not possible in space.

Химический состав мезосферы Венеры по данным **SPICAV/SOIR** миссии «Венера-Экспресс»

Евдокимова Д.Г. (evd.dar@yandex.ru), Беляев Д.А., Кораблев О.И., Федорова А.А.
Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. *84/32, 117997* Москва, Россия

Планета Венера полностью покрыта слоем облаков из капель концентрированной серной кислоты (высоты 50–70 км над поверхностью). CO_2-атмосфера над облаками (область мезосферы: 70–120 км) содержит серо- и хлорсодержащие газовые составляющие (SO, SO_2, HCl), водяной пар (H_2O), озон (O_3) и другие компоненты. Эти газы, несмотря на их небольшую концентрацию (0.1–1 ppm), играют важную роль в фотохимических процессах на Венере. С 2006 по 2014 год на орбите вокруг Венеры работал космический аппарат «Венера-Экспресс», подготовленный Европейским космическим агентством. В состав научного оборудования входил комплекс приборов SPICAV/SOIR, состоявший из трех спектрометров: ультрафиолетового и инфракрасного каналов спектрометра SPICAV (118–320 нм и 0.6–1.7 мкм) и ИК спектрометра SOIR (2.2–4.2 мкм). Разные режимы работы приборов на орбите позволили изучать как вертикальную структуру атмосферы (солнечное и звездное просвечивания), так и осуществлять временной и пространственный мониторинг атмосферы при наблюдениях в надир.

SOIR – первый спектрометр высокого разрешения на орбите Венеры ($\lambda/\Delta\lambda \sim 25000$); он работал в режиме солнечного просвечивания. Это позволило впервые исследовать вертикальную структуру надоблачной части атмосферы на терминаторе планеты. Были измерены вертикальные распределения в мезосфере таких малых газовых составляющих как H_2O, HDO, HCl, HF, SO_2. Один из ключевых результатов – измерение отношения количества

HDO к H_2O, которое над облаками Венеры оказалось в ~ 200 раз больше, чем в земной атмосфере, что напрямую связано с эволюцией воды на Венере. Также впервые был измерен вертикальный профиль содержания HCl, значительного резервуара водорода в мезосфере и основного источника радикалов хлора. Для диапазона высот 70–110 км относительное содержание составило ~ 0.5 ppm в единице объема.

С помощью SPICAV/SOIR была изучена еще одна важная составляющая атмосферы – оксиды SO_X, связанные химически с аэрозолями H_2SO_4 и S_X в облаках. Наблюдения SPICAV-UV в надир показали общий тренд уменьшения количества SO_2 над облаками с периодическими всплесками, источник которых пока неизвестен. Похожий тренд был получен аппаратами «Пионер-Венера» и «Венера-15» в 1980–1990 годах. Кроме этого, спектрометры SOIR и SPICAV-UV позволили впервые получить вертикальные профили содержания газов SO_2 и SO на терминаторе, а также, с помощью работающего в режиме звездного просвечивания спектрометра SPICAV-UV, удалось исследовать SO_2 и на ночной стороне. В зоне сумерек обнаружено наличие двух слоев поглощения SO_2: на высотах 65–80 км с количеством 0.2→0.02 ppm и на 90–105 км с содержанием 0.05→2 ppm; и слоя SO: 0.02→0.2 ppm для высот 85–105 км. В ночной мезосфере, в среднем, относительное содержание двуокиси серы варьируется в пределах 0.05–1 ppm в диапазоне высот 90–105 км.

Важным открытием при анализе спектров звездного просвечивания в ночной атмосфере стало открытие озонового слоя (полоса Хартли на 220–280 нм) на высоте ~ 100 км. До этого было известно о существовании озонового слоя только в атмосферах Земли и Марса. На Венере количества этого газа оказалось на несколько порядков меньше, чем на Земле.

Таким образом, с помощью приборов комплекса SPICAV/SOIR стало возможным уточнить состав и впервые детально исследовать вертикальную структуру малых газовых составляющих мезосферы Венеры и проследить за их годовыми вариациями за 8 лет работы космического аппарата.

Работа по обработке данных SPICAV/SOIR выполняется при поддержке Программы №9 (бывш. №22) РАН.

Авторы также выражают благодарность коллегам из французской лаборатории LATMOS и бельгийского института BIRA за многолетнее совместное сотрудничество по приборам SPICAV и SOIR.

Composition of Venus mesosphere measured by SPICAV/SOIR onboard Venus Express Orbiter

D. Evdokimova (evd.dar@yandex.ru), D. Belyaev, O. Korablev, A. Fedorova
[2]*Space Research Institute RAS, 84/32 Profsoyuznaya str., 117997 Moscow, Russia*

Venus is totally covered by a thick cloud layer (at altitudes 50–70 km) composed of sulfuric acid droplets. Carbon dioxide atmosphere above the clouds (mesosphere at 70–120 km) contains sulfur and chlorine gaseous components (SO, SO_2, HCl), water vapor (H_2O), ozone (O_3) and other minor species. These gases play key roles in photochemical processes of Venus atmosphere despite their small content (0.1–1 ppm in volume mixing ratio). Venus Express spacecraft made by European Space Agency had been operating around the planet from 2006 to 2014. A part of the scientific payload was a set of spectrometers SPICAV/SOIR: UV and IR channels of SPICAV (118–320 nm and 0.6–1.7 μm) and IR spectrometer SOIR (2.2–4.2 μm). Different operation modes allowed probing the vertical structure of the mesosphere (solar and stellar occultations) and to track temporal/spatial variations at the level of clouds top using nadir observations.

SOIR was the first high-resolution ($\lambda/\Delta\lambda \sim 25000$) IR spectrometer working in solar occultation mode near Venus. That made possible to study vertical distribution of the minor gaseous constituents such as H_2O, HDO, HCl and SO_2 on the planet's terminator above in the mesosphere. One of the key results was the HDO/H_2O ratio which occurred to be ~ 00 times more in Venus mesosphere than on the Earth. That is directly related to the evolution of the water on Venus. Vertical profile of the HCl content was also measured for the first time. HCl is a significant

reservoir of hydrogen and the major source of chlorine radicals in the Venus mesosphere. Mixing ratio of hydrogen chloride was ~ 0.5 ppm in the altitude range of 70–110 km.

Sulfur oxides SO_X are key components associated with aerosols of H_2SO_4 and S_X within and above the clouds. SPICAV-UV nadir observations showed a yearly decline of the SO_2 mixing ratio above the clouds with periodic peaks caused by an unknown source. A similar decade trend was obtained by the Pioneer Venus and Venera-15 spacecrafts in the 1980s–1990s. Furthermore, the SOIR and SPICAV-UV spectrometers were capable to obtain vertical profiles of SO_2 and SO density on the planet terminator and to explore SO_2 on the night side using stellar occultation technique in the UV. Two layers of SO_2 absorption were detected in the twilight zone: a lower layer at altitudes 65–80 km with mixing ratio of 0.2→0.02 ppm and the upper one at 90–105 km with 0.05→2 ppm; and a layer of SO: 0.02→0.2 ppm at 85–105 km. On the night side SO_2 average value of ~ 0.5 ppm was measured in the altitude range 90–105 km.

An important discovery made from the analysis of stellar occultation spectra became the detection of ozone layer (the Hartley band at 220–280 nm) at altitudes about 100 km in nighttime mesosphere. In the past, ozone had only been identified in the atmospheres of Earth and Mars. Quantity of ozone on Venus occurred to be less than on the Earth by a few orders of magnitude.

To resume, it became possible to specify the composition of Venus atmosphere above the clouds using the SPICAV/SOIR instruments, to study in details the vertical structure of minor species and to monitor their long-term variations during over than 8 years of the orbiter's operations.

This work is supported by the Programme 9 (prev. 22) of the RAS. We also acknowledge our colleagues from French laboratory LATMOS and Belgian institute BIRA for many years of joint cooperation in SPICAV/SOIR experiment.

Моделирование концентраций биологических аэрозолей с использованием модели **Enviro-HIRLAM** на примере пыльцы березы

Курганский А.Р.[1,2,3] (alexkurg@nbi.ku.dk), Нутерман Р.Б.[1,4], Махура А.Г.[5], Саарто А.[6], Бакланов А.А.[5,7], Расмуссен А.[5], Смышляев С.П.[2], Кос А.[1]

[1]*Niels Bohr Institute, University of Copenhagen (NBI UC), Juliane Maries Vej 30, DK-2100, Copenhagen, Denmark*

[2]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. *98, 195196* Санкт-Петербург, Россия

[3]Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ, *14а* ул. Ферсмана, *184209* Апатиты Мурманской обл,. Россия

[4]Томский государственный университет, пр. Ленина *36, 634050 Tomsk, Russia*

[5]*Danish Meteorological Institute (DMI), Lyngbyvej 100, DK-2100, Copenhagen, Denmark*

[6]*University of Turku, Aerobiological Unit, Vesilinnantie, 20014, Turku, Finland*

[7]*World Meteorological Organization (WMO), 7 bis, Avenue de la Paix, 1211 Geneva 2, Switzerland*

Моделирование атмосферного пространственно-временного распределения биологических аэрозолей, таких как пыльца березы, имеет высокую значимость в последние десятилетия. Пыльца березы является одним из самых распространенных аэрозольных примесей, вызывающих аллергические реакции среди групп населения подверженных респираторным заболеваниям, таким как ринит. Более того, около 20% населения Европы имеет аллергию на пыльцу, и это число значительно увеличивается из года в год. По этой причине осуществление прогноза концентраций пыльцевых аэрозолей с целью предупреждения населения является необходимым.

Для того чтобы смоделировать концентрации пыльцы березы использовался онлайн интегрированный модельный комплекс прогноза погоды и качества воздуха Enviro-HIRLAM. Модуль пыльцы березы, являющийся составной частью модельного комплекса, включает в себя карту пространственного распределения источников пыльцы березы, параметризацию для определения дат начала цветения основанную на данных о средней и суммарной

температуре воздуха, эмиссию пыльцы березы от локальных источников, сухое и влажное осаждение частиц в атмосфере.

Для оценки источников пыльцы березы была получена карта пространственного распределения березового леса посредством применения ГИС анализа для области моделирования с горизонтальным разрешением 15 км. Область моделирования покрывает территорию Северо-Западного региона РФ, Финляндию, часть Швеции, Белоруссию и Балтийские страны. Полученная карта пространственного распределения березового леса содержит информацию о фракциях березового леса в каждой ячейке области моделирования. Запуски модели осуществлялись для весны 2006 года – сезона с высокими значениями наблюдавшихся концентраций пыльцы березы для большинства Европейских стран. Смоделированные поля концентраций были проанализированы и верифицированы с данными наблюдений на примере Финских измерительных станций. Смоделированные и наблюдавшиеся концентрации пыльцы березы показали экстремально высокие значения (более 1000 частиц/м^3 для среднедневных концентраций), особенно в период 5–12 мая для измерительных станций. Результаты моделирования отразили основную изменчивость концентраций пыльцы на протяжении всего исследуемого периода и показали положительную корреляцию с измерениями для рассматриваемых станции.

Modeling of biological aerosol concentrations using Enviro-HIRLAM: birch pollen application

A.R. Kurganskiy[1,2,3] (alexkurg@nbi.ku.dk), R.B. Nuterman[1,4], A.G. Mahura[5], A. Saarto[6], A.A. Baklanov[5,7], A. Rasmussen[5], S.P. Smyshlyaev[2], E. Kaas[1]

[1]*Niels Bohr Institute, University of Copenhagen (NBI UC), Juliane Maries Vej 30, DK-2100, Copenhagen, Denmark*

[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., St. Petersburg, Russia*

[3]*Institute of Northern Environmental Problems, Kola Science Center, 14a, Fersman str., 184209, Apatity, Russia*

[4]*Tomsk State University (TSU), 36 Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia*

[5]*Danish Meteorological Institute (DMI), Lyngbyvej 100, DK-2100, Copenhagen, Denmark*

[6]*University of Turku, Aerobiological Unit, Vesilinnantie, 20014, Turku, Finland*

[7]*World Meteorological Organization (WMO), 7 bis, Avenue de la Paix, 1211 Geneva 2, Switzerland*

Modeling of the atmospheric spatio-temporal distribution of biological aerosols such as the birch pollen has high importance in recent decades. Birch pollen is one of the most common aerosol species causing allergenic reactions among population suffering from respiratory diseases such as rhinitis. Moreover, about 20% of the European population has allergy to pollen and the number is sufficiently increasing from year to year. For this reason, it is useful to be able to forecast pollen aerosol concentrations, so that warnings might be given to allergy patients.

In order to simulate birch pollen concentrations – Enviro-HIRLAM (Environment High Resolution Limited Area model) online-coupled meteorology-chemistry model has been applied. Birch pollen module – an integral part of the model, – includes a map of birch pollen sources, growing degree hour parameterization for start of flowering, birch pollen emission from the sources, dry and wet deposition of particles in the atmosphere.

In order to assess birch pollen sources – a birch forest map has been derived by GIS analysis for the modeling domain with 15 km horizontal resolution. The domain covers territory in North-West Russia, parts of Sweden, Finland, Belarus and Baltic States. The birch forest map includes the information on birch forest fractions in each grid cell of the modeling domain. The model simulations have been performed for spring 2006 – a season with abundant birch pollen concentrations for almost all of Europe. The simulated concentration fields have been analyzed and compared with observations at Finnish observation sites. Both modeled and observed birch pollen concentrations showed extremely high values (daily averages more than 1000 grains/m^3), and especially during 5–12 May 2006 episode for the sites. The modeled results reflected the general shape of changes in pollen concentration during the episode studied and showed good correlation with observations for considered measurement stations.

Фотохимия свечения атомарного кислорода в линии **98.9** нм в верхней атмосфере Земли

Шематович В.И. (shematov@inasan.ru)
Институт астрономии РАН, Пятницкая ул. *48, 119017* Москва, Россия

Зондирующие ракетные измерения, проведенные в 1988 году в условиях высокой солнечной активности показали, что интенсивность термосферного свечения OI в линии 98.9 нм характеризуется аномальным вертикальным профилем, показывая экзосферные интенсивности гораздо выше значений, предсказанных моделью радиационного переноса, которая включает известные на то время источники возбужденного кислорода. Все попытки, основанные на моделировании фотохимических процессов и переноса излучения, не смогли объяснить, почему измеренные яркости выше, чем предсказанные моделью. Совсем недавно, при помощи инструмента SOHO-SUMER проведены новые измерения потоков солнечной УФ радиации с высоким спектральным разрешением и, в частности, был измерен значительный поток солнечного излучения в линии кислорода на длине волны 98.9 нм. Такой источник фотонов ранее не учитывался при моделировании.

В данном исследовании выполнено моделирование переноса излучения мультиплета OI 98.9 нм, в котором учитывались фотохимические источники возбужденного кислорода, резонансное рассеяние солнечных фотонов и надтепловые атомы кислорода, т.е. фракция быстро движущихся атомов кислорода, образующихся в области надтепловых энергий распределения по кинетическим энергиям благодаря нетепловым процессам. В частности, включение рассеяния на солнечном мультиплете на длине волны 98.9 нм, позволило получить хорошее согласие расчетов с предыдущими наблюдениями ракетного зондирования. Получено также хорошее согласие между результатами моделирования и данными ракетных измерений для свечения атомарного кислорода в линии 130.4 нм.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-02-00838) и Программы №09 Президиума РАН.

Photochemistry of oxygen 98.9 nm ultraviolet emission in the Earth's upper atmosphere

V.I. Shematovich (shematov@inasan.ru)
Institute of Astronomy RAS, 48 Pyatnitskaya str., 119017 Moscow, Russia

Sounding rocket measurements conducted in 1988 under high solar activity conditions revealed that the intensity of thermospheric OI emissions at 98.9 nm present an anomalous vertical profile, showing exospheric intensities much higher than expected from radiative transfer model results, which included the known sources of excited oxygen. All attempts based on modeling the photochemical processes and the radiative transfer were unable to account for the higher than predicted brightnesses. More recently, the SOHO-SUMER instrument measured the UV solar flux at high spectral resolution, revealing a significant oxygen emission at 98.9 nm: a source of photons that had not been accounted for before.

In this study, we simulate the radiative transfer of the OI 98.9 nm multiplet, including the photochemical sources of excited oxygen, the resonant scattering of solar photons, and the effects of

non-thermal atoms, i.e. a population of fast-moving oxygen atoms in excess of the Maxwellian distribution. Including the scattering of the 98.9 nm solar multiplet, we find good agreement with the previous sounding rocket observation. The inclusion of a nonthermal oxygen population with a consistent increase of the total density produces a larger intensity at high altitude that apparently better accounts for the observation, but such a correction is not absolutely necessary given the uncertainties of the observation. A good agreement between model and sounding rocket observation is also found for oxygen emission at 130.4 nm.

This work is supported by the RFBR project No. 14-02-00838a and by the Basic Research Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences (Program 09).

Advanced model and theory of OH* layer

M. Grygalashvyly (gryga@iap-kborn.de), E. Becker, G.R. Sonnemann
Leibniz-Institute of Atmospheric Physics (IAP), Schloss str. 6, 18225, Kuehlungsborn, Germany

Airglow measurements in the Meinel band of excited hydroxyl (OH*) are used to infer temperatures at mesopause height and information about dynamical processes, such as gravity waves, planetary waves, and tides. Moreover, observing the emission from OH* is a tool to determine atomic oxygen, ozone, and atomic hydrogen, which are very difficult to measure by other methods. A number of investigations have focused on temperature obtained from airglow measurements. An important question is concerned with the altitude of the emission layer which is usually assumed to be constant.

We develop an advanced model of OH* relaxation and derive an analytical expression for the OH*-layer peak altitude and its number density for the terrestrial atmosphere. The numerical model of OH* relaxation takes into account all major processes such as the production of OH* by the reaction of H with O_3, secondary production by the reaction O with HO_2, deactivation by atomic oxygen, molecular oxygen and molecular nitrogen, spontaneous emission, and loss due to chemical reaction with O taking into account its dependence on vibrational numbers. For the quenching processes by molecular and atomic oxygen we apply a multi-quantum relaxation schemes. The model of OH* relaxation is part of a chemistry-transport model (CTM) which is driven by the dynamics from the KMCM (Kühlungsborn Mechanistic general Circulation Model).

Additionally, we derive analytical solutions which describe height and number density at peak of OH* layer, and relationship between both parameters, which may useful for temperature retrieval from ground-based airglow measurements.

We find that the number density and height of the OH*-layer peak are determined by the distributions of atomic oxygen and temperature, and by corresponding vertical gradients. Furthermore, there is a strong seasonal and latitudinal variability of the OH*-layer. There is an annual variation at high and mid latitudes and dominating semi-annual component at equatorial latitudes. The reason of the annual variation at middle and high latitudes is the residual circulation and corresponding fluxes of atomic oxygen. There are several possible reasons of the semi-annual cycle at low latitudes: tides, gravity waves, general mean circulation. The largest number densities are found in winter at high and middle latitudes, whereas the altitudes of the OH*-layer peak are highest during summer at high latitudes. The strongest variations of altitude and number density occur in northern hemisphere. The variation of altitude at equatorial latitudes over the course of the year is weaker than at high and mid latitudes. In view of such variability, the temperature which corresponds to the OH*-layer peak deviates from the temperature at constant pressure, as well as from the temperature at constant geometric altitude. We find an anti-correlation between height and number density of the OH*-layer, which is confirmed by satellite measurements.

Local and averaged effects of GWS on OH* layer

M. Grygalashvyly (gryga@iap-kborn.de), E. Becker, G. R. Sonnemann
Leibniz-Institute of Atmospheric Physics (IAP), Schloss str. 6, 18225, Kuehlungsborn, Germany

Airglow measurements are often used to infer temperature variations related to gravity waves (GWs). Based on an advanced model of excited hydroxyl (OH*) relaxation we simulate the effects of GWs on the OH*-layer and derive an expression for the OH*-layer peak altitude and its number density. The numerical model of OH* relaxation takes into account all major processes such as the production of OH* by the reaction of H with O_3, deactivation by atomic oxygen, molecular oxygen and molecular nitrogen, spontaneous emission, and loss due to chemical reaction with O. The model of OH* relaxation is part of a chemistry-transport model (CTM) which is driven by the dynamics from the KMCM (Kühlungsborn Mechanistic general Circulation Model) which simulates mid-frequency GWs and their effects on the mean flow in the MLT explicitly.

We found that the number density and height of the OH*-layer peak are determined by the distribution of atomic oxygen and by temperature, as well as by corresponding vertical gradients. Thus, there are two ways of influence of GWs on OH* layer: 1) due to modulation by O and *T* on short time scales (a few hours) and 2) due to the mixing of O by GWs on average.

The variation of the OH*-layer altitude due to GWs amounts to 5–10 km. In view of such strong variability, the temperature which corresponds to the OH*-layer peak deviates significantly from the temperature at constant pressure (~ 87.9 km). The variation of the OH*-layer altitude also introduces biases in the GWs amplitude and wavelength derived from airglow. Performing a sensitivity experiment we find that on average, GWs move the OH*-layer down by ~ 2–4 km and increase its number density by ~50–100 %. The main reason is the downward mixing of atomic oxygen by GWs. This effect is strongest at middle and high latitudes during the winter season.

Влияние новых констант скоростей столкновительных процессов **(v-v)** обмена энергией на населенности колебательных состояний молекулы **H_2O,** неравновесное излучение водяного пара и восстановление **[H2O]** в мезосфере и нижней термосфере

Мануйлова Р.О.[1] (nansey@yandex.ru), Феофилов А.Г.[2], Кутепов А.А.[3], Янковский В.А.[1]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия
[2]Политехническая школа, Лаборатория динамической метеорологии, Париж, Франция
[3]Католический университет Америки, Вашингтон, США

Мы представляем исследования колебательной кинетики молекулы H_2O в средней атмосфере и моделирование неравновесного излучения в ИК полосах водяного пара. Наша модель учитывает 13 возбужденных колебательных состояний с энергией до 7445 см$^{-1}$ (до верхних уровней – 002, 101, 200). В модели принимаются во внимание 54 колебательно-поступательных (V-T) и колебательно-колебательных (V-V) процесса обмена энергией при столкновениях молекул H_2O с N_2, O_2 и O, важных для атмосферных условий. Учитываются 32 колебательно-вращательных перехода, формирующие 1.4, 1.9, 2.7, 3.2, 4.7 и 6.3 мкм полосы водяного пара. Проанализированы в соответствии с экспериментальными данными возможные значения констант скоростей неупругих столкновительных процессов. Мы рассматриваем источник колебательного возбуждения колебательного уровня H_2O(010) при квазирезонансном переходе энергии между уровнями O_2(v=1) и H_2O(010) на основании модели электронно-колебательной кинетики возбужденных продуктов фотолиза озона и кислорода в мезосфере и нижней термосфере Земли YM-2011.

В настоящее время константы скоростей внутримолекулярных переходов энергии при столкновениях с N_2 and O_2 известны только для переходов (010-000) and (001,100-020). В нашей модели, так же как и в других моделях колебательной кинетики, предполагается, что

для всех столкновительных переходов, при которых квантовое число деформационной моды, v2, возрастает на 2:

$H_2O(v1,v2,v3) + M = H_2O(v1-1,v2+2,v3) + M$

$H_2O(v1,v2,v3) + M = H_2O(v1,v2+2,v3-1) + M$

константы скоростей равны константе скорости процесса $H_2O(001, 100) + M = H_2O(020) + M$.

Базируясь на анализе современных экспериментальных и теоретических данных, мы получили оценки константы скорости, *k*, переходов (002, 101)→021 и (101, 200)→120 и рассмотрели влияние новых скоростей процессов на населенности колебательных состояний молекулы H_2O на лимбовое интегральное и спектральное излучение. Мы получили оценку «верхнего предела» такого влияния, так как предположили что все процессы вышеуказанного типа за исключением процесса (001, 100)→020 имеют одну и ту же константу скорости *k*. Населенности колебательных состояний и интенсивности лимбового излучения рассчитывались с использованием программы ALI-ARMS non-LTE для характерных атмосферных условий и сравнивались с расчетами населенностей и интенсивностей для «обычных» констант скоростей. Мы также обсуждаем влияние неопределенности величин констант скоростей на восстановление концентрации водяного пара по измерениям интенсивностей излучения в ИК колебательно-вращательных полосах.

Effect of new rate constants of (v-v) energy exchange collisional processes on the H2O vibrational level populations, non-equilibrium radiation of water vapor and retrieval of [H2O] in the mesosphere and lower thermosphere

R.O. Manuilova[1] (nansey@yandex.ru), A.G.Feofilov[2], A.A. Kutepov[3], V.A. Yankovsky[1]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*

[2]*Ecole Politechnique, Dynamic Meteorology Laboratory, Paris, France*

[3]*The Catholic University of America, Washington, USA*

In the study we present the modern investigations of vibrational kinetics of H_2O molecule in the middle atmosphere and development of the models of non-equilibrium radiation of water vapor in the IR ro-vibrational bands. Our model accounts for 13 excited vibrational states up to energies 7445 cm^{-1} (the upper levels are 002, 101, 200). In this model, 54 vibrational-translational (V-T) and vibrational-vibrational (V-V) processes of energy exchange at collisions of H_2O with N_2, O_2 and O, which are important at the atmospheric conditions, were taken into account. The 32 ro-vibrational transitions forming 1.4, 1.9, 2.7, 3.2, 4.7 and 6.3 μm water vapor radiation bands are considered. Different variants of possible values of the rate constants of non-elastic collisional processes were analyzed considering the experimental data. Our consideration of the source of excitation of the first vibrational level $H_2O(010)$ due to the quasiresonance energy transfer between levels $O_2(v=1)$ and $H_2O(010)$ is based on the model of electronic-vibrational kinetics of excited products of ozone and oxygen photolysis in mesosphere and lower thermosphere of the Earth YM-2011.

Currently, the rate constants of intermolecular transitions between vibrational levels at collisions with N_2 and O_2 are known only for the transitions (010-000) and (001,100-020). In our model of H_2O vibrational levels kinetics, we assumed that for all collisional transitions, at which the bending mode quantum number, v2, increases by 2:

$H_2O(v1,v2,v3) + M = H_2O(v1-1,v2+2,v3) + M$

$H_2O(v1,v2,v3) + M = H_2O(v1,v2+2,v3-1) + M$ (1)

the rate constants are equal to that of the process $H_2O(001, 100) + M = H_2O(020) + M$.

Based on the analysis of currently available experimental and theoretical data, we have updated *k*, the rate constant of transitions (002, 101)→021 and (101, 200)→120, and estimated the effect of a new rate on the H_2O vibrational levels populations and limb radiation spectra. The “upper limit” of the effect was estimated using the same rate constant *k* for all processes of type (1), excluding process (001, 100)→020. The H_2O vibrational levels populations and limb radiation

spectra were calculated using the ALI-ARMS non-LTE code for characteristic atmospheric conditions and compared with the populations and spectra obtained for “regular” rate constants. We also discuss the effect of uncertainty of the rate constants values on uncertainties of H_2O retrieval from the measurements of intensities in IR ro-vibrational bands.

Сверхфоновое неравновесное радиоизлучение атомов и молекул верхней атмосферы, индуцированное мощным КВ радиоизлучением стенда «СУРА»

Троицкий А.В. (troitskyav@nirfi.sci-nnov.ru), Фролов В.Л., Востоков А.В.
Научно-исследовательский радиофизический институт, Большая Печерская *25/12а, 603950* Нижний Новгород, Россия

В работе сообщаются результаты измерений интенсивности СВЧ радиоизлучения верхней атмосферы Земли (h = 100–300 км) или ионосферы при воздействии на неё мощным КВ радиоизлучением стенда «Сура». Исследования проводились на стенде «Сура» в период 2012–2014 гг. Нагрев ионосферы (ее E и F слоев) осуществлялся на частотах в диапазоне 4300–6720 кГц пучком мощных радиоволн, наклоненным на 12 от вертикали на юг. Эффективная мощность излучения составляла 80–200 МВт. Приём СВЧ радиоизлучения осуществлялся с помощью радиометрических приёмников на частотах 140, 95, 37, 22 и 1–2 ГГц. Спектральное разрешение в миллиметровом и дециметровом диапазонах составляло 500 МГц и 25 МГц, соответственно.

Сверхфоновое неравновесное радиоизлучение атомов и молекул верхней атмосферы, индуцированное мощным КВ излучением, было обнаружено на частотах в диапазоне 1–2 ГГц. Яркостные температуры сверхфонового излучения составляли 10–40 К, что соответствует потоку радиоизлучения порядка 3000 Ян. Обнаружены спектральные особенности сверхфонового радиоизлучения в этом диапазоне. Интенсивность индуцированного сверхфонового излучения и его повторяемость в летнее время значительно меньше, чем в зимнее. Нешумовой характер, значительная интенсивность и спектральные особенности сверхфонового излучения указывает на его нетепловую природу.

Обнаруженное радиоизлучение обусловлено радиационными электронными состояниями нейтральных атомов и молекул верхней атмосферы (O, O_2, N, N_2), которые заселяются при соударениях с «горячими» электронами, образующимися под воздействием излучаемой стендом «Сура» мощной КВ радиоволны. Такие электронные состояния атомов и молекул с большими значениями главного квантового числа $n > 10$ (вплоть до $n \approx 1000$) называются Ридберговскими. Атомные спектры таких состояний находятся вблизи границы ионизации; они характеризуются большими временами жизни порядка 1 сек и размерами атома порядка 0.1 мм для $n = 1000$. Энергии переходов между соседними Ридберговскими состояниями лежат в радиодиапазоне. В дециметровом (n = 130–280) и метровом ($n > 280$) диапазонах спектр сверхфонового излучения становится близким к сплошному, т.к. расстояние между линиями излучения Δf становится очень малым (в дециметровом диапазоне Δf пропорциональна $1/n^3$ и порядка 10 МГц), а сами линии расширяются (расщепляются) вследствие соударений и различных эффектов (Доплера, Зеемана, Штарка и др.). Спектр сверхфонового излучения является существенно неоднородным. Этим объясняется наличие спектральных особенностей сверхфонового излучения в исследуемом диапазоне волн 1–2 ГГц.

Потенциал ионизации нейтральной компоненты верхней атмосферы составляет величину 12–15 эВ. Мощное КВ излучение стенда «Сура» способно «разогреть» электроны до указанных энергий. Сталкиваясь с атомами и молекулами, «горячие» электроны могут перевести их в Ридберговское состояние с последующим излучением э/м энергии в широком диапазоне радиоволн от метрового до микроволнового. Интенсивность этого излучения

зависит, в основном, от концентрации нейтральной компоненты, которая уменьшается с высотой, и электронной концентрации, которая имеет максимум в области F слоя.

Over-background nonequilibrium UHF radiation of the upper atmosphere atoms and molecules induced by the SURA powerful HF radio waves

A.V. Troitsky (troitskyav@nirfi.sci-nnov.ru), V.L. Frolov, A.V. Vostokov
Radiophysical Research Institute, 25/12a B.-Pecherskaya str, 603950 N.-Novgorod, Russia

In the report the results of UHF radiations measurements of the ionosphere (h = 100–300 km), which was modified by powerful HF radio waves radiated by the SURA heating facility are discussed. Experiments were conducted in 2012–2014. Pumping of the E and F ionosphere regions was carried out at frequencies 4300–6720 kHz with the effective radiation power of 80–200 MW. The transmitter beam was directed at the angle of 12 deg. out of the vertical to the south. Radiometric receivers at frequencies 140, 95, 37, 22, and 1–2 GHz were used in the measurements. The spectral resolution of the measurements in the millimeter and decimeter frequency ranges was 500 MHz and 25 MHz, respectively.

Over-background non-equilibrium radiation of atoms and molecules HF-induced in the ionosphere by the SURA heating facility was revealed at frequencies 1–2 GHz. Its brightness temperature was close to 10–40 K or of ≈ 3000 Yan. The spectral peculiarities of this radiation were found. Intensity of such nonequilibrium radiation as well as its appearance during experiments were significantly below in the summer than in the winter. Non-noise features and the high intensity of the emission are evidence of the nonthermal nature.

The radiation revealed is determined by the radiation electron states of neutral atoms and molecules in the upper ionosphere (O, O_2, N, N_2), which are occupied due to collisions between molecules and “hot” electrons produced in the ionosphere pumped by powerful HF radio waves. Such electron states of atoms and molecules with large values of the principal quantum number $n > 10$ (up to $n \approx 1000$) are known as the Rydberg’s states. Atomic spectra of such states are close to an ionization boundary. They are characterized by long living times of about 1 s and atom’s sizes of about of ≈ 0.1 mm for $n \approx 1000$. Transition energies between neighbor Rydberg’s states lie in the radio frequency range. In decimeter ($n \approx 130$–280) and meter ($n > 280$) frequency ranges the spectrum of over-background non-equilibrium radiation becomes almost continuous because frequency displacement between neighbor radiation lines, Δf, becomes very small ($\Delta f \approx 1/n^3 \approx 10$ MHz in the decimeter frequency range). It should be taken into account also that these lines are broadening due to collisions and Doppler, Zeeman, and Stark effects. The spectrum of over-background radiation is essentially nonuniform. It explains the absence of spectral peculiarities of over-background non-equilibrium radiation in the frequency range of 1–2 GHz.

In the upper atmosphere the ionization potential of the neutral component is of about 12–15 eV. Powerful radio waves, radiated by the SURA heating facility, can accelerate ionosphere electrons up to such energies. The “hot electrons” through collisions can transfer atoms and molecules to the Rydberg’s states and through that stimulate radiation electromagnetic waves in a wide frequency band from meter frequency range to micro radio waves. The intensity of these radiations depends mainly on both the atmosphere neutral component density, which decreases with height, and the electron density, which has a maximum in the ionosphere F2 region.

Экспериментальное моделирование структуры и излучения ударно сжатого слоя потока при движении космических объектов (КО) в атмосфере Земли

Калашников Е.В. (evk1955@yandex.ru)
Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, *188540* Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Физика явлений, сопровождающих вход в земную атмосферу космических тел, является предметом исследования метеорной астрономии [1]. Основа физики метеорных явлений – процессы торможения и потери массы КО в атмосфере, особенности движения в атмосфере крупных тел, формирующих ударную волну и ударно сжатый слой (УСС) со свечением и ионизацией. Сложность проблем, связанных с моделированием взаимодействия КО с атмосферой, неизбежно приводит к использованию понятий газовой динамики, гиперзвуковой аэродинамики и физики плазмы. Одним из основных методов, используемых в исследовании возможности наблюдения входа КО в атмосферу по свечению ударно сжатого слоя, сопутствующего движению объекта, наряду с численным, является метод экспериментального моделирования.

При проведении плазмодинамических исследований нами впервые было показано, что важному требованию моделирования режимов потока в высотной гиперзвуковой аэродинамике при широком диапазоне чисел Маха ($M_\infty = 1…30$) и Рейнольдса ($Re_\infty \geq 1$) соответствует поток плазмы, создаваемый при струйном диафрагменном разряде [2, 3], а именно: структура возмущенной области вблизи модельного тела при обтекании потоками плазмы струйного диафрагменного разряда на промежутке диафрагма-кольцевой электрод обладает свойствами автомодельных течений, т.е. с пропорциональностью геометрических размеров соблюдается пропорциональность величин (скорости, давления, плотности), определяющих течение плазменного потока обтекающего модельное тело; термодинамические параметры в окрестности модельного тела заданной формы являются подобными для комбинаций параметров (плотности ρ_∞, скорости V_∞, числа Маха M_∞ и числа Рейнольдса Re_∞) набегающего потока.

В качестве примера был получен ударно сжатый слой углерод-водород-кислород-азотной плазмы при использовании в качестве плазмообразующего материала органопластик ($C_{73}H_5O_{12}N_{10}$) и структура течения около модельного тела затупленной формы с радиусом кривизны $R_0 = 0.4$ см и характерной длиной тела $L_{мт} = 1.0$ см при скорости набегающего потока $V_\infty = 28$ км/с и его плотности $\rho_\infty = 1.26\ 10^{-6}$ г/см$^{-3}$ с реализацией расчетных параметров плазмы в УСС (давления торможения $P_{усс} = 13.4\ 10^5$ Па; температуры $T_{усс} = 23000$ К и постоянной адиабаты $\gamma = 1.21$). При использовании данного метода были также получены ударно сжатый слой углерод-фторной плазмы, где в качестве плазмообразующего материала – политетрафторэтилен $(C_2F_4)_n$, и структура течения около модельного тела затупленной формы с радиусом кривизны $R_0 = 0.4$ см и характерной длиной тела $L_{мт} = 1.0$ см при скорости набегающего потока $V_\infty = 53.2$ км/с с реализацией параметров плазмы в УСС (давления торможения $P_{усс} = 128.6\ 10^5$ Па; температуры торможения $T_{усс} = 37000$ К, плотности $\rho_{усс} = 2.39\ 10\text{-}^4$ г/см$^{-3}$ и постоянной адиабаты $\gamma = 1.23$).

1. Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений. М.: Наука. 1981. 416 с.
2. Калашников Е.В. Радиальное распределение давления в струе плазмы сильноточного диафрагменного разряда в вакууме // Теплофизика высоких температур. 1996. Т. 34. № 4. С. 501–505.
3. Калашников Е.В., Костицына Т.Г. Экспериментальное исследование кинетики состояния $B^2\Sigma^+$ радикалов циана CN в струе диафрагменного разряда на стадии послесвечения // Оптика и спектроскопия. 1995. Т. 78. № 1. С. 60–64.

Experimental simulation of the structure and radiation of the shock-compressed flow layer when extraterrestrial objects (EO) are in motion in the Earth's atmosphere

Ye.V. Kalashnikov (evk1955@yandex.ru)
Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering, Sosnovy Bor, Leningrad region, 188540, Russia

Physics of phenomena attendant on the re-entry of extraterrestrial objects is the subject matter of the meteoric astronomy [1]. The heart of the meteoric phenomena physics are the processes of EO deceleration and mass loss in the atmosphere, motion peculiarities of large objects in the atmosphere that generate a shock wave and shock compressed layer (SCL) with glow and ionization. The severity of problems in the EO and atmosphere interaction simulation leads to using notions of gas dynamics, hypersonic aerodynamics and plasma physics. One of the basic methods used in the study of the potential for the EO re-entry observation by the glow of the shock compressed layer attendant on the object motion is the experimental simulation method along with the numerical method.

In plasma dynamic studies we have showed for the first time that a plasma flow generated under the jet diaphragm discharge [2, 3] fits the important requirement of the flow behavior simulation in hypersonic aerodynamics at high altitudes with wide range of Mach (M_∞=1…30) and Reynolds ($Re_\infty \geq 1$) numbers. Structure of disturbed area in the vicinity of the simulated object when plasma flows over the jet diaphragm discharge between the diaphragm and ring electrode has the properties of self-similar flows. Namely, the proportionalily of quantities (velocity, pressure, density) that determine the plasma flow over the simulated object is kept with the geometry proportionality; thermodynamic parameters in the vicinity of the simulated object with a specified shape are similar to parameter combinations (density ρ_∞, velocity V_∞ , Mach number M_∞ and Reynolds number Re_∞) of an incident flow.

As an example a shock compressed layer of carbon-hydrogen-oxygen-nitrogen plasma with plexiglass ($C_{73}H_5O_{12}N_{10}$) as plasma generating material and the flow structure in the vicinity of simulated object of blunt-nosed shape with radius of curvature were obtained with R_0 = 0.4 cm and the specific body length L_{sb} = 1.0 cm at velocity of the incident flow V_∞ = 28 km/s and with the realization of plasma design parameters in shock compressed layer (deceleration pressure P_{scl} = 13.4 10^5 Pa; temperature T_{scl} = 23000 K and adiabatic constant γ = 1.21). Using the indicated method a shock compressed layer of carbon-fluorine plasma was obtained when polytetrafluoroethylene $(C_2F_4)_n$ was used as plasma generating material and the flow structure in the vicinity of simulated object of blunt-nosed shape were obtained with radius of curvature R_0 = 0.4 cm and the specific body length L_{sb} = 1.0 cm at the velocity of the incident flow V_∞ = 53.2 km/s with the following realization of plasma parameters in the shock compressed layer (deceleration pressure P_{scl} = 128.6 10^5 Pa; temperature T_{scl} = 37000 K, density ρ_∞ = 2.39 10^{-4} g/cm^{-3} and adiabatic constant γ = 1.23).

1. Bronshten V.A. *Physics of meteor phenomena*. M.: Nauka. 1981. 416 p. (in Russian).
2. Kalashnikov E.V. Radial distribution of pressure in a plasma jet of a high-current diaphragm discharge in vacuum // *High Temperature Thermal Physics (High Temperature)*. 1996. V. 34. № 4. P. 501–505 (in Russian).
3. Kalashnikov E.V., Kostitsuna T.G. Experimental investigation of $B^2\Sigma^+$state kinetics of CN cyanogen radicals in a diaphragm discharge jet at the afterglow stage // *Optics and Spectroscopy*. 1995. V 78. № 1. P. 60–64 (in Russian).

Неравновесное лимбовое излучение дневной атмосферы Марса в полосах **1.6** и **1.4** мкм молекулы CO_2 спектрометром **SPICAM**

Огибалов В.П.[1] (ogibalov@pobox.spbu.ru), Гуслякова С.А.[2], Швед Г.М.[1]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия
[2]Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. *84/32, 117997* Москва, Россия

Благодаря поглощению солнечного излучения в ближнем инфракрасном (БИК) диапазоне спектра имеет место сильное возбуждение (накачка) высоких колебательных состояний молекул CO_2 в атмосфере Марса. В результате концентрация (населенность) молекул CO_2 в этих состояниях днем оказывается много больше, чем ночью. С космического аппарата (КА) Марс-Экспресс, вращающегося вокруг Марса, спектрометром SPICAM измерялось уходящее излучение Марса в БИК диапазоне спектра. Получены спектры дневного уходящего лимбового излучения атмосферы Марса в 1.4 и 1.6 мкм полосах CO_2.

Инфракрасный канал прибора SPICAM, в основе которого лежит акустооптический перестраиваемый фильтр, охватывает спектральный диапазон 1.0–1.7 мкм и имеет относительно высокую разрешающую силу 1800–2400 и спектральное разрешение 0.5–1.2 нм [1]. С января 2004 года по апрель 2010 года получено 102 спектра излучения лимба, разрешающие полосы CO_2 около 1.6 и 1.4 мкм. Поле зрения прибора составляет 1 град, что дает на лимбе вертикальное разрешение от 25 до 200 км в зависимости от расстояния КА до планеты. Несмотря на относительно низкое высотное разрешение эти измерения являются потенциально пригодными для интерпретации наблюдаемого дневного излучения в полосах CO_2 около 1.6 и 1.4 мкм, поскольку изменение интенсивности свечения лимба с высотой контролируется только практически неизменным за время получения спектра зенитным углом солнца, а неравновесная колебательная температура является монотонной функцией высоты.

Работа выполнялась при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 15-02-07442а).

1. Korablev O., Bertaux J.-L., Fedorova A. et al. SPICAM IR acousto-optic spectrometer experiment on Mars Express // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. E09S03. doi:10.1029/2006JE002696.

Daytime Martian non-equilibrium limb emission in the 1.6 and 1.4 m CO_2 bands with SPICAM spectrometer

V.P. Ogibalov[1] (ogibalov@pobox.spbu.ru), S.A. Guslyakova[2], G.M. Shved[1]
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia*
[2]*Space Research Institute RAS, 84/32 Profsoyuznaya str., 117997 Moscow, Russia*

For the daytime Marian atmosphere, the rate of excitation of the vibrational states of the CO_2 molecules due to an absorption of the solar radiation in the near-infrared (NIR) spectral range is very large. This results in that the excited vibrational state populations of these molecules are much order of magnitude large than those for nighttime conditions. The SPICAM spectrometer on board the Mars-Express spacecraft has measured the NIR spectral range outgoing emission of Mars. The spectra of the Martian daytime limb emission in the 1.4 and 1.6 m CO_2 bands have been obtained.

Functioning of the infrared channel of the SPICAM spectrometer is based on the acousto-optic tunable filter, which operates within the 1.0–1.7 m spectral range with relatively high resolving force of order 1800–2400 and has a spectral resolution of 0.5–1.2 m [1]. During the period from January 2004 to April 2010, more than one hundred limb emission spectra resolving the bands of the CO_2 molecules near 1.6 and 1.4 m have been obtained. The field-of-view of the SPICAM spectrometer is of order 1 degree. This results in that the limb vertical resolution consists between 25 and 200 km depending on the distance between the Mars-Express spacecraft and the planet. Such measurements occur to be potentially useful for an interpretation of the observed daytime emission in the 1.4 and 1.6 m CO_2 bands despite of relatively low vertical resolution. The reason consists in that, on the one hand, the variation of the limb emission intensity is defined by

value of the solar zenith angle which remains practically constant during the time period of recording a single spectrum and, on the other hand, the non-equilibrium vibrational temperatures of the CO_2 molecular states, which give rise for the 1.4 and 1.6 m CO_2 bands, are monotonic functions of height.

The research has been supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research (project 15-02-07442a).

1. Korablev O., Bertaux J.-L., Fedorova A. et al. SPICAM IR acousto-optic spectrometer experiment on Mars Express // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. E09S03. doi:10.1029/2006JE002696.

Диагностика литосферно-ионосферных связей по наблюдениям вариаций амплитуды грозовых сигналов

Аргунов В.В. (ArgunovVv@mail.ru), Муллаяров В.А.
Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина *31, 677000* Якутск, Россия

Поиск предвестников землетрясений ведется по многим направлениям. На сегодняшний день представлено немало работ, описывающих литосферно-ионосферную связь. Многие в своих исследованиях используют спутниковые данные. Также для дистанционного мониторинга за возмущениями нижней ионосферы, обусловленными воздействием сейсмических процессов, используют сигналы низкочастотных (СДВ) радиостанций. Изменение профиля электронной концентрации и высоты нижней ионосферы должно проявляться в вариациях амплитуды и фазы сигналов, распространяющихся через области над эпицентрами землетрясений. В достаточно большом количестве работ показано, что вариации фазы сигналов низкочастотных радиопередатчиков, наблюдаемые за несколько дней до землетрясений, могут быть использованы в качестве предвестников литосферных возмущений. Преимущество использования данных сигналов заключается в том, что сигналы СДВ радиостанций контролируются, это позволяет рассчитывать амплитудно-фазовые вариации и по ним восстанавливать параметры возмущений в нижней ионосфере. Однако не всегда удается подобрать нужную радиотрассу распространения сигналов.

Нами в качестве модификации метода предлагается мониторинг сейсмических возмущений в нижней ионосфере по естественным радиоизлучениям – по электромагнитным сигналам грозовых разрядов (атмосферикам). Метод позволяет вести азимутальное сканирование областей возмущений из одного приемного пункта. Эффекты землетрясений и их предвестников проявляются в виде возрастания средней амплитуды атмосфериков. При анализе данных для более уверенного выделения предвестников выбираются временные интервалы не менее чем через 10 дней после возмущения (землетрясения) на выбранном азимутальном направлении.

Diagnostics of lithosphere-ionosphere relations by observations of thunderstorm signals

V.V. Argunov (ArgunovVv@mail.ru), V.A. Mullayarov
Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin Ave, 677980 Yakutsk, Russia

A search of the earthquake precursors is conducted in many directions. At present many works describing a lithosphereionospheric connection are presented. Many authors in their investigations use the satellite data. To monitoring the lower ionosphere disturbances caused by the action of seismic processes, the signals of very low frequency (VLF) radio stations are used. The change of composition profile of the electron concentration and the height of lower ionosphere should be manifested in the variations of amplitude and phase of the signals propagating through regions over the earthquake epicenters. In the sufficient great number of works it is shown that variations of the phase of signals of low-frequency radio transmitters observed some days before earthquakes can be considered as earthquake precursors. The advantage of using these signals lies

in the fact that signals of VLF radio stations are controlled, it allows to calculate the amplitude-phase variations and according to them to recover parameters of disturbances in the lower ionosphere. However, it is not always possible to select the necessary path of radio signal propagation.

We suggest the method for monitoring the seismic disturbances in the lower ionosphere by natural radio-emissions i.e. by electromagnetic signals of thunderstorm discharges (atmospherics) as the modification of indicated method. The new method allows conducting the azimuthal scanning of disturbance regions from one point of receiving the signals. The effects of earthquake and their precursors are manifested in the form of increase of the average amplitude of atmospherics. For more confident extraction of precursors the time intervals are selected not less than in 10 days after the disturbance (earthquake) in the chosen azimuthal direction.

Неопределенность восстановления высотного профиля озона из объемных скоростей эмиссий кислорода

Мартышенко К.В. (ocsi18@mail.ru) и Янковский В.А. (vyankovsky@gmail.com)
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Данное исследование посвящено проблеме определения высотного профиля озона в мезосфере и нижней термосфере Земли (МНТ). Для создания алгоритмов решения обратных задач по восстановлению высотных профилей концентрации озона из эмиссий возбужденных молекул кислорода была использована современная модель фотодиссоциации O_2 и O_3 (YM2011). Было учтено, что эмиссии O_2 ($a^1\Delta_g$, v = 0), O_2 ($b^1\Sigma^+_g$, v = 0, 1, 2) и O (^1D) зависят от концентрации озона как в процессах образования, так и в процессах тушения этих возбужденных уровней кислорода, следовательно они могут являться прокси для озона в МНТ области атмосферы. В работе даны рекомендации по использованию каждого из выше перечисленных прокси для восстановления [O_3], а также оценена точность этих методов.

Исследование точности восстановления высотного профиля озона проводилось на основе результатов анализа чувствительности модели YM2011 с учетом погрешностей всех входных параметров (скоростей фотопроцессов, констант скоростей и квантовых выходов продуктов аэрономических реакций).

Показано, что неопределенность восстановления высотного профиля [O_3] из профиля [$O(^1D)$] не превышает 10% только в интервале высот 40–85 км. Профиль [$O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=1)] дает возможность восстанавливать O_3 с неопределенностью 21% в интервале высот 40–95 км, а [$O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=0)] – 29% в интервале высот до 97 км. Неопределенность восстановления высотного профиля озона из [$O_2(a^1\Delta_g$, v=0)] в интервале высот 40–89 км составляет 21%, но неоднородна по высоте, особенно в области 77–85 км. Возможная причина этого заключается в том, что на данный момент константа скорости реакции $O_2(a^1\Delta$, v=0) + $O(^3P)\rightarrow$ экспериментально не измерена и оценивается с ошибкой порядка ± 100%.

Таким образом, оптимальным методом восстановления высотного профиля озона в мезосфере и нижней термосфере является наблюдение объемной скорости эмиссии молекулы $O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=1) в интервале высот 40–95 км.

Uncertainty of retrieval of the ozone altitude profiles from volume emission rates of the oxygen molecules

Kseniia Martyshenko (ocsi18@mail.ru) and Valentine Yankovsky (vyankovsky@gmail.com)
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

This study focused on determining of the ozone density altitude profile in the mesosphere and lower thermosphere of the Earth (MNT). The modern model of dissociation of O_2 и O_3 (YM2011) has been used to create algorithms for solving inverse problems of retrieval of altitude profiles of

ozone concentration from missions from excited oxygen molecules. It has been taken into account that emissions $O_2(a^1\Delta_g$, v=0), $O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=0, 1, 2) and $O(^1D)$ depend on the concentration of ozone in the processes of production and in the process of quenching of the excited levels of oxygen; so they can be a proxy for ozone in the MNT region of atmosphere. The paper provides recommendations on the use of each of the proxies for retrieval of $[O_3]$, and the accuracy of these methods is investigated.

Investigating the accuracy of retrieval of the ozone density altitude profile was based on the results of the sensitivity analysis of model YM2011 taking into account uncertainty of all input parameters (solar excitation and photodissociation rates, quantum yields of products and rate constants of aeronomical reactions).

It is shown that uncertainties of retrieving the altitude profiles of $[O_3]$ from $[O(^1D)]$ do not exceed 10% in the interval 40–85 km only. Profile $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=1)] allows us to retrieval of O_3 with the 21% uncertainty in the interval 40–95 km, and profile $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=0)] – with the 29% uncertainty at altitudes up to 97 km. Uncertainties of the retrieval of altitude profiles of ozone from $[O_2(a^1\Delta_g$, v=0)] achieve 21% at altitudes of z = 40–89 km, but those are not uniform in height in interval 77–85 km particularly. Possible cause of this lies in the fact that at this point the rate constant of $O_2(a^1\Delta$, v=0) + $O(^3P)\rightarrow$ is not measured experimentally and estimated with an error of ± 100%.

Overall, optimal method of the retrieval of ozone altitude profiles is the observation of volume emission rate of the molecule $O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=1) in the interval 40–95 km.

Анализ методов восстановления высотного профиля атомарного кислорода в мезосфере и нижней термосфере Земли

Мартышенко К.В. (ocsi18@mail.ru), Янковский В.А. (vyankovsky@gmail.com)
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

В этом исследовании представлены новые методы восстановления высотного профиля атомарного кислорода из эмиссий возбужденных молекул и атомов кислорода $O_2(b^1\Sigma_g$, v=0-2), $O_2(a^1\Delta_g$, v=0) и $O(^1D)$. Для поиска оптимального метода восстановления $[O(^3P)]$ была использована модель фотодиссоциации молекулярного кислорода и озона YM2011 в мезосфере и нижней термосфере Земли. Теоретически, все пять возбужденных уровней молекул и атома кислорода могут быть перспективными источниками информации о $[O(^3P)]$, поскольку населенности электронно-колебательных состояний в значительной степени контролируется тушащими столкновениями с атомами кислорода. Детальный анализ решения обратной задачи по восстановлению $O(^3P)$ проводился путем исследования чувствительности заселенности электронно-колебательно возбужденных состояний этих уровней к вариациям всех параметров, включенных в модель YM2011 (констант скоростей химических реакций и параметров стандартной атмосферы Земли). Кроме этого, на основе результатов анализа чувствительности проведено исследование точности восстановления высотных профилей атомарного кислорода с учетом погрешностей всех входных параметров.

Получено, что $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=2)] является наиболее перспективной компонентой для восстановления $[O(^3P)]$ в диапазоне высот 90–135 км, так как эта компонента зависит только от атомарного кислорода и практически не зависит от высотного профиля озона. Профили $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=1)] и $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=0)] также могут быть использованы в том же интервале высот с неопределенность на 2–3% больше, чем для $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=2)]. Показано, что неопределенности восстановленных значений концентрации атомарного кислорода из эмиссий $[O_2(a^1\Delta_g$, v=0)] и $[O(^1D)]$ существенно выше, чем для прокси $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=0-2)] в интервале высот ниже 115 км.

Analysis of methods of the retrieval of altitude profiles of atomic oxygen in the mesosphere and lower thermosphere of the Earth

Kseniia Martyshenko (ocsi18@mail.ru) and Valentine Yankovsky (vyankovsky@gmail.com)
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

This study presents new methods of retrieval of the vertical profile of atomic oxygen from emission of excited molecules and atoms of oxygen $O_2(b^1\Sigma_g$, v=0-2), $O_2(a^1\Delta_g$, v=0) and $O(^1D)$. The model YM2011 of photodissociation of molecular oxygen and ozone has been used to search for an optimal method of retrieval of $[O(^3P)]$ in the mesosphere and lower thermosphere of the Earth. Theoretically, every from five of excited levels of molecules and atoms of oxygen could be promising sources of information about $[O(^3P)]$, because each from these 5 excited components depends on $O(^3P)$ since the electron-vibrational states controlled quenching collisions with atoms of oxygen largely. Detail study of the solution of the inverse problem of $O(^3P)$ retrieval was conducted by the sensitivity analysis of electronic-vibrational excited states of these levels for variations of all model parameters YM2011 (rate constants of aeronomical reactions and parameters of standard atmosphere of the Earth's). In addition, based on the results of the sensitivity analysis, the accuracy of retrieval of altitude profiles of atomic oxygen was investigated taking into account the uncertainty of all input parameters.

It has been found that $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=2)] is the most promising component for the retrieval of $[O(^3P)]$ in the interval 90–135 km, since this component depends on the atomic oxygen and independent on the altitude profile of ozone virtually. Profiles $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=1)] and $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=0)] can also be used in the same interval of heights with uncertainty of 2–3% higher than for $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=2)]. Uncertainties of the retrieval of values of the concentration of atomic oxygen from emissions $[O_2(a^1\Delta_g$, v=0)] and $[O(^1D)]$ significantly higher than for the proxy $[O_2(b^1\Sigma^+_g$, v=0-2)] at altitudes below 115 km were obtained.

Методы восстановления атомарного кислорода и озона из наблюдений дневных эмиссий кислорода в МНТ регионе

Янковский Валентин А. (vyankovsky@gmail.com), Мартышенко Ксения, Мануйлова Рада
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская *1, 198504* Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Целью данного исследования является выявление прокси для восстановления $[O(^3P)]$ и $[O_3]$ в дневное время в мезосфере и нижней термосфере. В настоящее время не существует надежных методов дистанционного зондирования высотного профиля $[O(^3P)]$, но атомарный кислород является ключевой компонентой в механизме атмосферного охлаждения из-за тушения колебательно возбужденных молекул COx. В рамках разработанной модели электронных колебательной кинетики возбужденных продуктов фотолиза O_3 и O_2 в МНТ Земли (модель YM-2011), мы рассмотрели фотолиз O_2 в континууме Шумана-Рунге и в линии атома Лайман-α H, а также фотолиз O_3 в полосе Хартли, приводящий к образованию электронное-колебательно-возбужденных молекул $O_2(a^1\Delta_g$, v = 0–5), $O_2(b^1\Sigma^+_g$, v = 0, 1, 2) и возбуждённого атома кислорода $O(^1D)$. Система кинетических уравнений для этих 10 возбужденных компонентов была решена и высотные профили концентраций $O(^1D)$, $O_2(a^1\Delta_g$, v = 0–5), $O_2(b^1\Sigma^+_g$, v = 0, 1, 2) были рассчитаны в интервале высот 40–150 км.

Мы протестировали 5 возбужденных компонент, а именно $O_2(a^1\Delta_g$, v = 0), $O_2(b^1\Sigma^+_g$, v = 0, 1, 2) и $O(^1D)$ в качестве прокси O_3 и $O(^3P)$. Для сравнения характеристик предлагаемых прокси мы использовали:

1) анализ чувствительности высотных профилей концентраций прокси к вариациям $[O_3]$ и $[O(^3P)]$;

2) фотохимические времена жизни возбужденных состояний;

3) интенсивности объемных скоростей эмиссий (VER) этих возбужденных компонентов;

4) относительные значения неопределенностей значений концентраций $O(^3P)$ и O_3, восстановленных из интенсивностей эмиссии прокси, образованных соответствующими излучательными переходами.

На основе этого комплексного анализа мы пришли к выводу, что оптимальным прокси для восстановления $[O(^3P)]$ являются $O_2(b^1\Sigma^+_g, v = 0)$ и/или $O_2(b^1\Sigma^+_g, v = 2)$ в интервале высот 90–150 км, и для $[O_3]$ поиска являются $O_2(b^1\Sigma^+_g\ v = 1)$ и/или $O_2(a^1\Delta_g\ v = 0)$ в интервале высот 40–97 км.

Methods of the atomic oxygen and ozone retrieval from observations of the O_2 dayglow emissions in the MLT region

Valentine A. Yankovsky (vyankovsky@gmail.com), Kseniia Martyshenko, Rada Manuilova
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya ul., Saint-Petersburg-Petrodvorets, Russia

The purpose of this study is revealing proxies for retrievals of $[O(^3P)]$ and $[O_3]$ in the daytime mesosphere and lower thermosphere. There is currently no reliable method of remote sensing of $[O(^3P)]$ altitude profile, but the atomic oxygen is a key component in the mechanism of atmospheric cooling due to quenching of vibrationally excited COx molecules. In the framework of developed model of electronic vibrational kinetics of excited products of O_3 and O_2 photolysis in MLT of the Earth (model YM-2011) we consider the photolysis of O_2 in the Schumann-Runge continuum and Lyman- H atom line and of O_3 in Hartley band that leads to the formation of products of photolysis: electronically-vibrationally excited molecules $O_2(a^1\Delta_g, v = 0–5)$, $O_2(b^1\Sigma^+_g, v = 0, 1, 2)$, and also excited oxygen atom $O(^1D)$. The total system of kinetic equations for 10 components has been solved and altitude profiles of concentrations of $O(^1D)$, $O_2(b^1\ ^+_g, v= 0, 1, 2)$, and $O_2(a^1\Delta_g, v = 0–5)$ have been calculated.

We tested 5 excited components, namely, $O_2(b^1\ ^+_g, v = 0, 1, 2)$, $O_2(a^1\Delta_g, v = 0–5)$ and $O(^1D)$ as the $O(^3P)$ and O_3 proxies. To compare characteristics of assumed proxies we used:

1) sensitivity analysis of the proxy concentrations altitude profiles to variations of $[O_3]$ and $[O(^3P)]$;

2) photochemical lifetimes of excited states;

3) volume emission rates (VER) of these excited components;

4) the relative uncertainties values of $[O(^3P)]$ and $[O_3]$ retrieved from intensities of emissions formed by the corresponding radiative transitions.

Based on this complex analysis we have concluded that the the optimal proxies for $[O(^3P)]$ retrieval are $O_2(b^1\ ^+_g, v = 0)$ and/or $O_2(b^1\ ^+_g, v = 2)$ at 90–150 km, and for $[O_3]$ retrieval – $O_2(b^1\ ^+_g, v = 1)$ and/or $O_2(a^1\Delta_g, v = 0)$ at 40–97 km.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Авакян С.В. 164
Акименко Р.М. 246, 248
Акперов М.Г. 283
Андреев М.С. 85
Андреева Е.С. 281
Андриеш В.И. 287
Аникин П.П. 174
Анискина О.Г. 286
Антохин П.Н. 271
Антохина О.Ю. 111, 228, 271
Арабаджян Д.К. 70, 250, 301
Арефьев В.Н. 248
Аргунов В.В. 320
Артамонов А.Ю. 155
Аршинов М.Ю. 228
Асмус В.В. 7
Бакланов А.А. 309
Балин Ю.С. 80
Баранова Е.Л. 246
Баранюк А.В. 22
Басс Л.П. 117
Батранин А.В. 232
Баула Г.Г. 117
Баханов В.В. 87
Бахтияров В.Ф. 258
Бедарева Т.В. 142, 193
Бекряев Р.В. 235
Белан Б.Д. 111
Белашов В.Ю. 263, 264
Белашова Е.С. 264
Белецкий А.Б. 294
Беликов Ю.Е. 307
Белов В.В. 30, 199
Белов С.Ю. 103
Белова И.Н. 103
Беляев Б.И. 42
Беляев Д.А. 307
Беляев К.П. 38
Березин И.А. 70, 106, 108
Бернгардт О.И. 258
Бирюков Е.Ю. 110, 113
Бобриков А.А. 167
Бойков Н.А. 100, 101
Бондаренко С.Л. 232
Борисов Е.Я. 241
Борисова Н.Ю. 281
Боровский А.Н. 72, 73
Бородин С.А. 83
Бочковский Д.А. 297
Бубукин В.И. 66
Бубукин И.Т. 66
Бугрим Г.И. 246
Будак В.П. 125, 129
Булыгина О.Н. 203
Бунина Н.А. 223
Бунтов Д.В. 13
Бусыгин В.П. 156
Бусыгина Н.Г. 156
Бычков В.В. 139
Вагин Ю.П. 156
Ван Генчен 77, 171
Ванг Пусай 77, 171
Варгин П.Н. 11
Васильев А.В. 131
Веремей Н.Е. 213
Весман А.В. 40
Виноградова А.А. 146
Виролайнен Я.А. 70, 76, 106, 108, 112, 297, 299
Вишератин К.Н. 45, 289
Власенко С.С. 183, 185, 187
Волков В.А. 40, 62
Волков В.Ю. 278
Волкова Е.В. 35, 47
Волкова М.А. 260
Володин Е.М. 11
Воронин В.А. 100
Воронцов А.М. 281
Востоков А.В. 315
Гаврилов А.А. 270
Гаврилов Н.М. 265, 277, 279, 285
Галечян Г.А. 164
Галин В.Я. 159, 268, 305
Ганьшин А.В. 65
Гаркуша А.С. 61
Гатебе Ч. 93
Гинзбург А.С. 189
Гиричев Д.Б. 241
Говорина И.А. 155
Голицын Г.С. 6
Головин Ю.М. 18, 20
Горбаренко Е.В. 207, 225
Горбунов М.Е. 9
Горелик А.Г. 65
Горлач И.А. 55
Городничев Е.Е. 122
Горчаков Г.И. 13, 154,
Горчакова И.А. 174
Готюр И.А. 89
Гречко Е.И. 73, 77, 234
Груздев А.Н. 295
Губенко В.Н. 253
Гулев С.К. 231
Гурвич И.А. 49
Гурченков Д.А. 235
Гуслякова С.А. 319
Давыдов Д.К. 228
Данилова Н.Е. 290
Девятова Е.В. 271
Дементьев В.А. 99
Демчев Д.М. 62
Денисов А. 238
Джионг Д. 60
Джола А.В. 73, 77, 234
Дмитриев Е.В. 79
Дмитриева Л.Р. 162
Драбенко В.А. 96
Дроздов Д.В. 101
Дрофа А.С. 83
Дымников В.П. 267

Дюфор Г. 76
Евдокимова Д.Г. 307
Егоров А.Д. 96
Еланский Н.Ф. 234
Елохов А.С. 73
Емиленко А.С. 151, 171
Ераньков В.Г. 149
Еременко М. 76
Ермакова Т.С. 286
Ермоленко С.И. 256
Ерошкина Н.А. 55
Жданова Е.Ю. 14, 209
Жданова М. 238
Желтов В.С. 125, 129
Жендарев М.В. 235
Жих С.С. 99
Журавлев А.А. 99
Журавлева Т.Б. 142, 158, 193
Журалевичюте О. 70
Заболоцких Е.В. 49
Завгородний А.С. 292
Завелевич Ф.С. 18, 20
Загретдинов Р.В. 258
Задворных В.А. 225
Зайцев Н.А. 70, 110, 113
Закинян Р.Г. 275
Захаров В.И. 118
Захваткина Н.Ю. 40
Зубачев Д.С. 252
Зубов В.А. 302
Зысина Н.Ю. 54
Ивангородский Р.В. 26, 273
Иванов В.А. 72, 73
Иванова О.А. 187
Ивахов В.М. 15
Игнатьев А.Н. 292, 303
Игнатьев Н.И. 135
Ильин Г.Н. 104
Илюшин Я.А. 25
Имхасин Х.Х. 70
Ионов Д.В. 70, 82, 112
Исаков А.А. 151, 186
Кабанов Д.М. 144, 167, 170, 193
Кадыгров Е.Н. 65
Кадышевич Е.А. 132
Калашник М.В. 273
Калашников Е.В. 134, 317
Каменоградский Н.Е. 246
Каменцев В.П. 79
Караваев Д.М. 64, 89
Каримов Р.Р. 88
Кароль И.Л. 15
Карпов А.В. 13, 151, 175
Карпов И.В. 285
Катковский Л.В. 42, 58
Кашин Ф.В. 246, 248
Кирнос И.В. 30
Кириллович И.А. 253
Киселев А.А. 15
Киселева Ю.В. 20, 55, 160
Князев А.К. 65
Ковадло П.Г. 245, 259
Ковалевская О.И. 156
Коваль А.В. 265, 277, 279
Козлов А.А. 52
Козлов В.И. 88
Козлов Д.А. 18, 20
Козлов И.А. 18, 20
Козодеров В.В. 79, 199
Кокорин А.М. 210
Колокутин Г.Э. 248
Коломеец Л.И. 305
Кондранин Т.В. 79
Кондрик Д.В. 28, 51
Копейкин В.М. 13, 151, 155, 171
Копылов Е.А. 245
Кораблев О.И. 307
Коросов А.А. 40, 127
Коротков В.Н. 146
Корсаков А.А. 88
Коршунов В.А. 252
Кос А. 309
Костылева Н.В. 294
Косцов В.С. 52, 70, 110
Коханенко Г.П. 80
Крамчанинова Е.К. 52
Краснов В.И. 99
Краснов В.М. 89
Краснокутская Л.Д. 199
Криницкий М.А. 243
Кровотынцев В.А. 7
Кропоткина Е.П. 292, 303
Крутиков В.А. 278
Кузнецов А. 93, 131
Кузнецов А.Д. 238
Кузнецов Г.А. 13, 151
Кузьмин Д.А. 180
Кузьмина И.Ю. 156
Кузовлев А.И. 122
Кукушкина А.Е. 256
Кулешов А.А. 38
Кулешов В.П. 22
Кулешов Ю.В. 89
Куликов Ю.Ю. 297
Кулямин Д.В. 267, 268
Куницын В.Е. 31, 281
Курбатов Г.А. 13
Курганский А.Р. 309
Курдяева Ю.А. 285
Кутепов А.А. 313
Кутуза Б.Г. 25
Кухарский А.В. 54
Кушнаренко А.В. 180
Кшевецкий С.П. 285
Лебедев А.Б. 89
Лезина Е.А. 151
Лейте О. 286
Лейфер А. 60
Леонович В.А. 294
Линкова А.М. 69
Логинов С.В. 192, 195
Лубенченко А.В. 129
Лукин А.Н. 292, 303
Лукин В.П. 245

Лупо А.Р. 16
Лучинин А.Г. 87
Львова Т.Ю. 302
Макарова М.В. 70, 76, 250, 301
Макриденко Л.А. 7
Максакова С.В. 153, 199, 217
Мануйлова Р.О. 313, 323
Мареев Е.А. 305
Маричев В.Н. 139, 182, 297
Маркелова А.Н. 278
Мартышенко К.В. 321, 322, 323
Матюгин В.А. 302
Матюгов С.С. 33
Махотин М.С. 155
Махоткина Е.Л. 179
Махура А.Г. 309
Медведев А.П. 85
Меллквист Й. 299, 301
Мельникова И.Н. 57, 93, 131, 189, 238
Мерзляков Е.Ю. 277
Мерзляков Е.Г. 280
Мешков А.Н. 89
Милехин О.Е. 7
Миллер Е.А. 65, 104
Мингалев И.В. 135, 136
Мирвис В.М. 302
Миронов Г.Н. 183
Миронова С.Ю. 183, 185
Митник Л.М. 22, 49
Митник М.Л. 22, 49
Михайлов Е.Ф. 183, 185, 187
Михалев А.В. 294
Мищенко А.М. 235
Мозер А.Л. 241
Монахов Д.О. 18
Морозов Е. 51, 203
Морозова И.В. 219
Мохов И.И. 16, 174, 283
Моцаков М.А. 299
Музылев Е.Л. 35
Муллаяров В.А. 88, 320
Мушта А.В. 40
Мясников Г.Н. 219
Набатчиков А.С. 235
Найденов Е.В. 235
Насртдинов И.М. 158, 193
Нгуен Т.Т. 57, 157
Небосько Е.Ю. 187
Незваль Е.И. 14, 222
Нерушев А.Ф. 26, 44, 45, 273
Нестеров И.А. 31
Нечаева О.А. 275
Николаева О.В. 117
Николайшвили С.Ш. 307
Николашкин С.В. 139
Никольский Г.А. 213
Никулин А.Г. 18
Никулин В.Н. 157
Новигатский А.Н. 155
Новиков П.В. 139, 182
Нутерман Р.Б. 309
Огибалов В.П. 319
Озолс О.И. 149
Орозалиев М.Д. 45
Осипов В.М. 137
Осипов С.И. 70
Островский В.Е. 132
Павельев А.А. 33
Павельев А.Г. 33, 253
Падохин А.М. 281
Панкратова Н.В. 179, 234
Панченко М.В. 148
Парамонова Н.Н. 250, 301
Пеннер И.Э. 80
Перевалова Н.П. 258
Петтерссон Л. 28, 51
Петрушин А.Г. 141
Пластинин Ю.А. 117
Плахина И.Н. 179
Поберовский А.В. 70, 76, 82, 106, 107, 108, 110, 250, 297, 299, 301
Погорельцев А.И. 265, 277, 279, 284, 286, 287
Подлесный С.В. 294
Поздняков Д.В. 28, 51? 127
Покровский О.М. 229
Полькин В.В. 144, 148, 167, 173
Полькин В.В. 167
Полюхов А.А. 14, 55, 197
Поляков А.В. 61, 70, 76, 106, 299
Полякова С.Е. 220
Пономарева Т.Я. 151, 155
Портнягин Ю.И. 277
Постыляков О.В. 72, 73, 85
Потапова И.А. 96
Пригарин С.М. 119, 199
Пузанов Ю.В. 128
Пхалагов Ю.А. 148
Радионов В.Ф. 144, 167, 170, 173, 211
Ракитин В.С. 77, 234
Расмуссен А. 309
Рассказчикова Т.М. 111
Репина И.А. 87, 155
Ржонсницкая Ю.Б. 96
Ривин Г.С. 197
Ризванов А.А. 117
Роговой А.В. 128
Роговцов Н.Н. 115
Рогозкин Д.Б. 122
Родин А.В. 135
Розанов С.Б. 292, 303
Розенталь В.А. 14
Рокотян Н.В. 118
Романов Н.П. 149, 176
Романовская А.А. 146
Рублев А.Н. 54, 55, 160
Русина Е.Н. 211
Рыбаков Ю.В. 100, 101
Рыбченко Л.С. 215
Рыскин В.Г. 297

Рышкевич Т.И. 183, 185
Сааль И.А. 226
Саарто А. 309
Савенкова Е.Н. 265, 277, 279
Савиных В.В. 241
Савкин Д.Е. 144, 173
Савчук С.В. 215
Садыкова А.Ф. 157
Сакерин С.М. 144, 167, 170, 193
Самойлова С.В. 80
Самукова Е.А. 219
Самуленков Д.А. 238
Саноцкая Н.А. 96
Сапунов М.В. 238
Сафронов А.Н. 77
Саэрс М. 127
Свириденков М.А. 142, 151, 174
Семенов А.О. 70
Семенов В.А. 203, 283
Семенов Е.А. 101
Семенова Ю.А. 260
Семутникова Е.Г. 151
Серегин А.О. 13
Сибир Е.Е. 144, 211
Сизов Н.И. 248
Силюк О.О. 42
Симоненков Д.В. 111, 271
Синицын А.В. 213, 243
Ситнов С.А. 16, 151
Скляднева Т.К. 228, 271
Скороход А.И. 155, 234
Смерек Ю.Л. 275
Смирнов Н.С. 146
Смирнов С.В. 232
Смышляев С.П. 159, 299, 301, 305, 309
Соколов А.В. 13
Соловьев В.И. 7
Соловьева Т.В. 280
Соломонов С.В. 292, 303
Сосновский Ю.В. 206
Сотелл К. 127
Стадник В.В. 225, 226
Старцева З.П. 35
Стасенко В.Н. 241
Статная И.А. 286
Стрелков С.А. 153, 199, 217
Стрельцов А.М. 52
Стучебров С.Г. 232
Сушкевич Т.А. 153, 199, 217
Сыренова Т.Е. 294
Таланов Е.А. 220
Танажура К.А.С. 38
Танг Д. 51
Тарасенков М.В. 30, 199
Тартаковский В.А. 278
Татарников А.В. 294
Тащилин М.А. 294
Тереб Н.В. 97
Терез Г.А. 206
Терез Э.И. 206
Терешин Н.А. 31
Терпугова С.А. 148, 173
Тимажев А.В. 16
Тимофеев Ю.М. 61, 70, 76, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 250, 297, 299, 301
Титов А.А. 13
Титов В.И. 87
Тихонов А.В. 186
Толмачев Г.Н. 111
Толстых М.А. 162
Точилкина Т.А. 65
Трифонов А.Н. 280
Троицкий А.В. 65, 104, 315
Трубина М.А. 162
Трубников В.С. 101
Тюрина С.О. 149
Ужегов В.Н. 148
Упэнэк Л.Б. 248
Успенский А.Б. 7, 52, 54
Фалалеева В.А. 123, 153, 199
Федорова А. 51
Федорова А.А. 307
Федотова Е.А. 135, 136
Феофилов А.Г. 313
Филей А.А. 160
Фирсов К.М. 201
Фока С. 70
Фокеева Е.В. 77
Фомин Б.А. 123, 153, 199, 248
Фофонов А.В. 228
Французова И.А. 70, 107, 108
Фролов А.В. 7
Фролов В.Л. 315
Фролькис В.А. 189, 210
Хайлов М.Н. 7
Харин А.С. 162
Харюткина Е.В. 192, 195
Хлебникова Е.И. 226
Хлопов Г.И. 69
Хмелева В.С. 62
Хмелинин Б.А. 117
Хорошенький Д.В. 162
Хуторов В.Е. 91, 99
Хуторова О.Г. 99
Цветков А.В. 213
Чебыкин А.Г. 117
Ченцов А.В. 118
Чепурин Г.А. 60
Чередько Н.Н. 260, 278
Черемисин А.А. 139, 180, 182
Черепанов В.Б. 294
Черепова М.В. 301
Черников С.В. 180
Чернокульский А.В. 203
Чёрный И.В. 22, 52
Чернявский Г.М. 22
Чеснокова Т.Ю. 118, 158, 201
Чечин Д.Е. 44
Чубарова Н.Е. 14, 159, 197
Чукин В.В. 57, 157
Чукина А.М. 157

Чуличков А.И. 85
Чуракова Е.Ю. 155
Шагалов О.В. 125, 129
Шайер В.А. 185
Шаламянский А.М. 76
Шатунова М.В. 196, 197
Шварева С.Д. 112
Швед Г.М. 56, 319
Шевченко В.П. 155
Шевчук Н.О. 284
Шематович В.И. 311
Шестаков Н.В. 258
Шиловцева О.А. 196, 223, 225
Широтов В.В. 97
Шиховцев А.Ю. 245, 259
Шмирко К.А. 167
Шнипов И.С. 180
Штабкин Ю.А. 234
Шукайло В.Г. 58
Щукин Г.Г. 64, 89
Шухман Р.А. 127
Щевцов Б.М. 139
Юрганов Л.Н. 60
Эзау И.Н. 203
Якименко И.В. 235
Якоби К. 256
Янковский В.А. 313, 321, 322, 323
Яскевич Г.Ф. 83

AUTHORS INDEX

Abakumova G. 190
Aculinin A.A. 177
Akimenko R.M. 245, 248
Akperov M.G. 282
Alege Adenike 92
Alpert P. 29
Andreev M.S. 86
Andreeva E. 281
Andriesh V.I. 287
Anikin P.P. 174
Aniskina O. 286
Antokhin P.N. 271
Antokhina O.Yu. 112, 228, 271
Aquila V. 162
Arabadjan D.K. 71, 249, 300
Arai Y. 21
Aref'ev V.N. 248
Argunov V.V. 318
Armante R. 22
Arshinov M.Yu. 228
Artamonov A.Yu. 155
Asmus V. 8
Avakyan S.V. 165
Bais A. 209
Bakhanov V. 87
Bakhtiyarov V.F. 258
Baklanov A.A. 309
Ball W. 209, 294
Balin Yu.S. 81
Baranova E.L. 245
Baranyuk A.V. 23
Bass L.P. 116
Batranin A.V. 232
Baula G.G. 116
Bech J. 250
Becker E. 311, 312
Bedareva T.V. 142, 193
Bekryaev R.V. 234
Belan B.D. 112
Belashov V.Yu. 262, 263
Belashova E.S. 263
Beletskiy A.B. 293
Beliaev B.I. 43
Belikov Yu.E. 306
Belov S.Yu. 104
Belov V.V. 31, 199
Belova I.N. 104
Belyaev D. 307
Belyaev K.P. 39
Berezin I.A. 71, 107, 109
Berngardt O.I. 258
Bhartia P.K. 162
Bi Jian 63
Bilygina O.N. 203
Biryukov E.Yu. 110, 113
Bobrikov A.A. 168
Bochkovsky D.A. 297
Boikov N.A. 101, 102
Bondarenko S.L. 232
Borisov E.Ya. 240
Borisova N. 281
Borodin S.A. 84
Borovskiy A.N. 73, 74
Bossay S. 209
Bubukin I.T. 68
Bubukin V.I. 68
Budak V.P. 125, 129
Bunina N.A. 223
Buntov D.V. 13
Bureau J. 75
Burgin G.I. 245
Busygin V.P. 156
Busygina N.G. 156
Bychkov V.V. 139
Capelle V. 119
Chebykin A.G. 116
Chechin D.E. 45
Chen L. 226
Chentsov A.V. 117
Chepurin G. 60
Cheredko N.N. 261, 278
Cheremisin A.A. 139, 180, 181
Cherepanov V.B. 293
Cherepova M.V. 300
Chernokulsky A.V. 203
Cherny I.V. 23, 53
Chernyavskii G.M. 23
Chesnokova T.Yu. 117, 158, 201
Chipperfield M. 209
Choi Sungho 63
Chubarova N.Ye. 15, 159, 197
Chukin V.V. 57, 157
Chukina A.M. 157
Chulichkov A.I. 86
Churakova E.Yu. 155
Colarco P. 162
Croize L. 75
Dai Q. 200
Danilova N.E. 290
Davydov D.K. 228
Demchev D. 62
Denisov A. 238
Devyatkin A.M. 90
Devyatova E.V. 271
Dmitriev E.V. 79
Dmitrieva-Arrago L.R. 161
Doicu A. 120
Drabenko V.A. 96
Drofa A.S. 84
Drozdov D.V. 102
Dufour G. 76
Duruisseau F. 75
Dymnikov V.P. 266
Dzhola A. 74, 78, 233
Efremenko D.S. 120
Elansky N.F. 233
Elokhov A.S. 74
Emilenko A.S. 151, 171

Erankov B.G. 149
Eremenko M. 76
Ermakova T. 286
Ermolenko S.I. 256
Eroshkina N.A. 56
Esai I.N. 203
Evdokimova D. 307
Falaleeva V.A. 123, 153, 199
Fedorova A. 52, 307
Fedotova E.A. 135
Feofilov A.G. 22, 119, 313
Filey A.A. 160
Firsov K.M. 201
Fofonov A.V. 228
Foka S. 71, 246
Fokeeva E. 78
Fomin B.A. 21, 123, 153, 199, 209, 226, 247
Frantsuzova I.A. 71, 108, 109
Frolkis V.A. 189, 210
Frolov A. 8
Frolov V.L. 315
Galechyan G.A. 165
Galin V.Ya. 159, 268, 304
Ganshin A.V. 66
Garkusha A.S. 61
Gatebe Ch. 94
Gavrilov A.A. 269
Gavrilov N.M. 264, 276, 279, 284
Gengchen W. 171
Gerasimov O.A. 102
Ghdanova M, 238
Ginzburg A. 189
Girichev D.B. 240
Godson Ana 92
Golitsyn G.S. 6
Golovin Yu. 19, 20
Gorbarenko E. 190, 207, 224
Gorbunov M.E. 10
Gorchakov G.I. 13, 151
Gorchakova I.A. 174
Gorelik A.G. 66
Gorlach I.A. 56
Gorodnichev E.E. 121
Gotur I.A. 90
Govorin I.A. 155
Grechko E.I. 74, 78, 233
Grygalashvyly M. 311, 312
Gruzdev A.N. 295
Gubenko V.N. 253
Gulev S.K. 230
Gurchenkov D.A. 236
Gurvich I.A. 50
Gushchin G. 190
Guslyakova S.A. 318
Harin A.S. 161
Hatami S. 280
Herdies D.L. 243
Holben B.N. 108, 109
Horoshenky D.V. 161
Huret N. 75
Ignatyev A.N. 292, 303
Ignatyev N.I. 135
Ilin G.N. 105
Ilyushin Ya.A. 26
Imasu R. 21, 226
Imhasin H.H. 71, 95
Ionov D.V. 82, 113
Ippolitov I.I. 265
Isakov A.A. 151, 186
Ivakhov V.M. 16
Ivangorodsky R.V. 27, 273
Ivanov V.A. 73, 74
Ivanova O.A. 187
Jacobi Ch. 256
Jaross G. 162
Jõeveer A. 190
Juralevičiūt÷ O. 108
Kaas E. 309
Kabanov D.M. 144, 168, 169, 193
Kabanov M.V. 265
Kadygrov E.N. 66
Kadyshevich E.A. 132
Kalashnik M.V. 273
Kalashnikov Ye.V. 134, 317
Kalashnikova O. 29
Kallis A. 190
Kamenogradsky N.Ye. 245
Kamentsev V.P. 79
Kanaya Y. 74,
Kannel M. 190
Karavaev D.M. 65, 90
Karimov R.R. 89
Karol I.L. 16
Karpov A.V. 13, 151, 175
Karpov I.V. 284
Kashin F.V. 245, 248
Katkovsky L.V. 43, 59
Kattai K. 190
Keernik H. 190
Khakhinov V. 299
Khailov 8
Kharyutkina E.V. 191, 195
Khlebnikova E. 226
Khlopov G.I. 70,
Khmeleva V. 62
Khmelinin B.A. 116
Kirillovich I.A. 253
Kirner O. 95
Kirnos I.V. 31
Kiselev A.A. 16
Kiseleva Yu.V. 20, 55, 160
Kishcha P. 29
Kniazev A.K. 66
Knyazikhin Yu. 63
Kobzev A.A. 239
Kokhanenko G.P. 81
Kokorin A.M. 210
Kolokutin G.E. 247
Kolomeets L. 305
Kondo H. 21
Kondranin T.V. 79
Kondrik D. 29, 52

Kopeikin V.M. 13, 151, 155, 171
Kopylov E.A. 244
Korablev O. 307
Korosov A.A. 41, 126
Korotkov V.N. 146
Korsakov A.A. 89
Korshunov V.A. 252
Kostsov V.S. 53, 71, 95, 110
Kostyleva N.V. 293
Koval A.V. 264, 276, 279
Kovaldo P.G. 244, 259
Kovalevskaja O.I. 156
Kozlov A.A. 20, 53
Kozlov D.A. 19, 20
Kozlov I. 19, 20
Kozlov V.I. 89, 254
Kozoderov V.V. 79, 199
Kramchaninova E.K. 53
Krasnokytskaya L.D. 199
Krasnov V.M. 90
Krinitskiy M. 243
Kropotkina E.P. 292, 303
Krutikov V.A. 278
Kshevetskii S.P. 284
Kukharsky A.V. 19, 54
Kukushkina A.E. 256
Kuleshov A.A. 39
Kuleshov V.P. 23
Kuleshov Y.V. 90
Kulikov Yu.Yu/ 297
Kulyamin D.V. 266, 268
Kunitsyn V.E. 32, 281
Kurbatov G.A. 13
Kurdyaeva Yu.A. 284
Kurganskiy A.R. 309
Kushnarenko A.V. 180
Kushnarev D. 299
Kutepov A.A. 119, 313
Kutuza B.G. 26
Kuzmin D.A. 180
Kuzmina I.Yu. 156
Kuznetsov A.D. 94, 130, 238
Kuznetzov G.A. 13, 151
Kuzovlev A.I. 121
Larar A. 8,
Laulainen N. 190
Lebedev A.N. 90
Lebedev V. 299
Leifer I. 60
Leite O. 285
Leonovich V.A. 293
Lezina E.A. 151
Li Liu 46
Li Li 204, 215
Liu Q. 215
Linkova A.M. 70
Loginov S.V. 191, 195
Long Ch.N. 29
Lorente J. 250
Loughman R. 162
Loyola D. 120
Lubenchenko A.V. 129
Luchinin A. 87
Lukin A.N. 292, 303
Lukin V.P. 244
Lupo A.R. 17
Lvova T.Yu. 301
Mahotin M.S. 155
Mahura A.G. 309
Makarova M.V. 71, 76, 95, 246, 249, 300
Makhotkina E.L. 178
Makridenko L. 8
Maksakova S.V. 153, 199, 217
Manuilova R.O. 313, 323
Mareev E.A. 304
Markelova A.N. 278
Marichev V.N. 139, 181, 297
Martyshenko K. 320, 322, 323
Matyugin V.A. 301
Matyugov S.S. 34
Medvedev A.P. 86
Melnikova I.N. 57, 94, 130, 189, 238
Mellqvist J. 298, 300
Memarian M.H. 280
Merzlyakov E.G. 280
Merzlyakov E.Yu. 276
Meshkov A.N. 90
Mikhailov E.F. 183, 184, 187
Mikhalev A.V. 293
Milekhin O. 8
Miller E.A. 66, 105
Mingalev I.V. 135
Mironov G.N. 183
Mironova S.Yu. 183, 184
Mirrokni S.M. 280
Mirvis V.M. 301
Mishchenko A.M. 236
Mitnik L.M. 23, 50
Mitnik M.L. 23, 50
Mokhov I.I. 17, 174, 203, 282
Monakhov D. 19
Morozov E. 52
Morozova I.V. 218
Motsakov M.A. 298
Mozer A.L. 240
Muckenhuber S. 62
Mullayarov V.A. 89, 254, 319
Mushta A.V. 41
Muzylev E.L. 37
Myasnikov G.N. 218
Myneni Ranga B. 63
Nabatchikov A.S. 236
Nagorsky P.M. 236, 239, 254, 265
Naidyonov E.V. 236
Nasrtdinov I.M. 158, 193
Nebosko E.Yu. 187
Nechaeva O.A. 275
Neiman L. 190
Nerushev A.F. 27, 45, 46, 273
Nesterov I.A. 32
Nezval' Ye.I. 15, 221
Nguyen T.T. 57, 157
Nikolaeva O.V. 116

Nikolashkin S.V. 139
Nikolayshvili S.Sh. 306
Nikolsky G.A. 213
Nikulin A. 19,
Nikulin V.N. 157
Niwa Y. 226
Novigatsky A.N. 155
Novikov P.V. 139, 181
Nuterman R.B. 309
Ogibalov V.P. 318
Ohvril H. 190
Ohvril T. 190
Okulov O. 190
Orozaliev M.D. 46
Osipov S.I. 71
Osipov V.M. 136
Ossó A. 250
Ostrovskii V.E. 132
Ozols O.I. 149
Padokhin A. 281
Panchenko M.V. 147
Pankratova N.V. 178, 233
Paramonova N.N. 249, 300
Park Taejin 63
Pavelyev A.A. 34
Pavelyev A.G. 34, 253
Payan S. 75
Penner I.E. 81
Perevalova N.P. 258
Peter T. 209
Pettersson L. 29, 52
Petrushin A.G. 140
Pkhalagov Yu.A. 147
Plakhina I.N. 178
Plastinin Yu.A. 116
Poberovskii A.V. 71, 76, 82, 95, 107, 108, 109, 110, 246, 249, 297, 300
Podlesny S.V. 293
Pogoreltsev A.I. 264, 276, 279, 283, 285, 286
Pokrovsky O.M. 230
Polkin V.V. 144, 147, 168, 172
Policarpov A.A. 177
Pol'iukhov A.A. 15, 56, 197
Polyakov A.V. 19, 61, 71, 76, 107, 298
Polyakova S.E. 220
Ponomareva T.Ya. 151, 155
Portnyagin Yu.I. 276
Postylyakov O.V. 73, 74, 86
Potapova I.A. 96
Pozdnyakov D. 29, 52, 126
Prigarin S.M. 119, 199
Pucai W. 171
Pustovalov K.N. 239, 265
Puzanov Yu.V. 127
Radionov V.F. 144, 168, 169, 172, 211
Rakitin V.S. 78, 233
Rasskazchikova T.M. 112
Rasmussen A. 309
Repina I. 87, 155
Revercomb H. 8
Rezac L. 119
Rivin G.S. 197
Rizvanov A.A. 116
Rokotyan N.V. 117
Rodin A.V. 135
Rogovoy A.V. 127
Rogovtsov N.N. 115
Rogozkin D.B. 121
Romanov N.P. 149, 176
Romanovskaya A.A. 146
Rosental' V.A. 15
Rozanov E. 209, 294
Rozanov S.B. 292, 303
Rublev A.N. 19, 20, 54, 55, 160
Rusina E.N. 211
Russak V. 190
Rybakov Yu.V. 101, 102
Rybchenko L. 214
Ryshkevich T.I. 183, 184
Ryskin V.G. 297
Rzhonsnitskaya Yu.B. 96
Saarto A. 309
Sadykova A.F. 157
Safronov A.N. 78
Saitoh N. 21
Sakerin S.M. 144, 168, 169, 193
Sall I. 226
Samoilova S.V. 81
Samukova E.A. 218
Samulenkov D. 238
Sander R. 209
Sanotskaya N.A. 96,
Sapunov M. 238
Savchuk S. 214
Savenkova E.N. 264, 276, 279
Savinykh V.V. 241
Savkin D.E. 144, 172
Sawtell R. 126
Sayers M. 126
Schmutz W. 209
Semenov A.O. 71
Semenov E.A. 102
Semenov V.A. 203, 282
Semoutnikova E.G. 151
Seregin A.O. 13
Shagalov O.V. 125, 129
Shalamyanskii A.M. 76
Shapiro A. 209
Shatunova M.V. 196, 197
Shayer V.A. 184
Shchukin G.G. 65, 90
Shematovich V.I. 310
Shestakov N.V. 258
Shevchenko V.P. 155
Shevchuk N. 283
Shihovcev A.Yu. 244
Shikhovtsev A.Yu. 259
Shilovtseva O.A. 196, 223, 224

Shiomi K. 21
Shirotov V.V. 98
Shmirko K.A. 168
Shnipov I.S. 180
Shtabkin Yu.A. 233
Shuchman R. 126
Shukaila V.G. 59
Shumen Sun 46
Shvareva S.D. 113
Shved G.M. 256, 318
Shvetsov B.M. 139
Sibir E.E. 144, 211
Siliuk O.O. 43
Silva A. 29
Simonenkov D.V. 112, 271
Sinitsyn A. 230, 243
Sitnov S.A. 17, 161
Sizov N.I. 248
Sklyadneva T.K. 228, 271
Skorohod A.I. 155, 233
Slutsker I. 108, 109
Smerek Yu.L. 275
Smicov V.P. 177
Smirnov A. 108, 109
Smirnov S.V. 232, 265
Smirnov N.S. 146
Smith N. 8
Smith W.L. 8
Smyshlyaev S.P. 159, 209, 298, 300, 304, 305, 309
Sokolov A.V. 13
Sola Y. 250
Solomonov S.V. 292, 303
Solovjev V. 8
Solovyeva T.V. 276, 280
Someya Y. 21
Sonnemann G.R. 311, 312
Sosnovsky Yu.V. 206
Stadnik V.V. 224, 226
Starobinets B. 29
Startseva Z.P. 37
Stasenko V.N. 240
Statnaya I. 286
Strelcov A.M. 53,
Strelkov S.A. 153, 199, 217
Stubenrauch C.S. 22
Stuchebrov S.G. 232
Sukhodolov T. 209
Sushkevich T.A. 153, 199, 217
Sviridenkov M.A. 142, 151, 174
Syrenova T.E. 293
Taha G. 162
Talanov E.A. 220
Tanabe Y. 21
Tanajura C.A.S. 39
Tang D. 52
Tamura M. 226
Tarasenkov M.V. 31, 199
Tartakovsky V.A. 278
Tashchilin M.A. 293
Tatarnikov A.V. 293
Taylor J. 8
Tee M. 190
Telford P. 209
Tereb N.V. 98,
Tereshin N.A. 32
Terez E.I. 190, 206
Terez G.A. 190, 206
Terpugova S.A. 147, 172
Tikhonov A.V. 186
Timazhev A.V. 17
Timofeyev Yu.M. 19, 61, 71, 76, 95, 107, 108, 109, 110, 113, 249, 297, 298, 300
Titov A.A. 13
Titov V. 87
Tobin D. 8
Tochilkina T.A. 66
Tokuhashi K. 226
Tolmachev G.N. 112
Tolstykh M.A. 161
Toropov A.A. 254
Tourpali K. 209
Trautmann T. 120
Trifonov A.N. 280
Troitsky A.V. 66, 105, 315
Trubina M.A. 161
Trubnikov V.S. 102
Tsvetkov A.V. 218
Tyurina S.O. 149
Upenek L.B. 248
Uspensky A.B. 8, 19, 20, 53, 54
Uzhegov V.N. 147
Yakovleva V.S. 236, 265
Yurganov L. 60
Vagin Yu.P. 156
Vargin P. 12
Vasilev A.V. 130
Vendrasco E.P. 243
Veremey N.E. 218
Vesman A.V. 41
Vinogradova A.A. 146
Virolainen Ya.A. 19, 71, 76, 107, 109, 113, 297, 298
Visheratin K.N. 46, 289
Vlasenko S.S. 183, 184, 187
Volkov Yu.V. 278
Volkov V.A. 41, 62
Volkova E.V. 37, 48
Volkova M.A. 261
Volodin E. 12
Voronin V.A. 101
Vostokov A.V. 315
Wang G. 78
Wang P. 78
Weisz E. 8
Xiangdong Zheng 46
Xin X. 204, 215
Xiong Xiaozhen 60
Yakimenko I.V. 236
Yang H. 215

Yankovsky V.A. 313, 320, 322, 323
Yaskevich G.F. 84
Yegorov A.D. 96
Yesalusky M. 8
Yu S. 204
Yu. J. 215
Zabolotskikh E.V. 50
Zadvornykh V.A. 224
Zagretdinov R.V. 258
Zaitsev N.A. 71, 95, 110, 113
Zakharov V.I. 117
Zakhvatkina N.Y. 41
Zakinyan R.G. 275
Zavelevich F. 19, 20
Zavgorodniy A.S. 292
Zhang H. 204, 215
Zhdanova Ye.Yu. 15, 208
Zheltov V.S. 125, 129
Zhendarev M.V. 236
Zhuralevichute O. 71
Zhuravleva T.B. 142, 158, 193
Zubachev D.S. 252
Zubov V.A. 301
Zysina N.Yu. 54