

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ и НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ – ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

**«АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ и ДИНАМИКА»
(МСАРД – 2011)**

21 – 24 июня 2011 г., г. Санкт – Петербург

Сборник тезисов

Санкт — Петербург

2011

СИМПОЗИУМ ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Российского фонда
фундаментальных исследований

MINISTRY OF EDUCATION OF RUSSIAN FEDERATION

SAINT – PETERSBURG STATE UNIVERSITY



INTERNATIONAL SYMPOSIUM

**«ATMOSPHERIC RADIATION and DYNAMICS»
(ISARD – 2011)**

21 – 24 June 2011, Saint-Petersburg- Petrodvorets

Proceedings

Saint–Petersburg

2011

THE SUPPORT:



Russian Foundation for Basic Research

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ МСАРД-2011

Почетный председатель – Голицын Г.С., академик РАН, ИФА РАН, г. Москва, Россия

Председатель комитета – Тимофеев Ю.М., СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Заместитель председателя – Погорельцев А.И., РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Ученый секретарь конференции – Шульгина Е.М.

Члены комитета:

Арефьев В.Н., ИЭМ, г. Обнинск, Россия

Басс Л.П., ИПМ РАН, г. Москва, Россия

Бобылев Л.П., Нансен-центр, г. Санкт-Петербург, Россия

Гаврилов Н.М., СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Горчаков Г.И., ИФА РАН, г. Москва, Россия

Гречко Е.И., ИФА РАН, г. Москва, Россия

Дмитриева-Арраго Л.Р., ГМЦ, г. Москва, Россия

Еланский Н.Ф., ИФА РАН, г. Москва, Россия

Задорожный А.М., НГУ, г. Новосибирск, Россия

Зеге Э.П., ИФ им. Б.И.Степанова НАБ, г. Минск, Беларусь

Кароль И.Л., ГГО, г. Санкт-Петербург, Россия

Куницын В.Е., МГУ, г. Москва, Россия

Кутуза Б.Г., ИРЭ, г. Москва, Россия

Михайлов Е.Ф., СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

Мохов И.И., ИФА РАН, г. Москва, Россия

Нерушев А.Ф., ИЭМ, г. Обнинск, Россия

Осипов В.М., НИИКИ ОЭП, г. Сосновый Бор, Россия

Петрушин А.Г., ИЭМ, г. Обнинск, Россия

Погорельцев А.И., РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Покровский О.М., ГГО, г. Санкт-Петербург, Россия

Семенов А.И., ИФА РАН, Москва, Россия

Спорышев П.В., ГГО, г. Санкт-Петербург, Россия

Смышляев С.П., РГМИ, г. Санкт-Петербург, Россия

Троицкий А.В., НИРФИ, г. Нижний Новгород, Россия

Успенский А.Б., НПО «Планета», г. Москва, Россия

Чен Б.Б., КРСУ, г. Бишкек, Киргизская Республика

Чубарова Н.Е., МГУ, г. Москва, Россия

Фомин Б.А., ЦАО, г. Москва, Россия

Шефов Н.Н., ИФА РАН, Москва, Россия

Щукин Г.Г., ГГО, г. Санкт-Петербург, Россия

Юшков В.А., ЦАО, Долгопрудный, Россия

Янковский В.А., СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Brent N. Holben, Goddard Space Flight Center, USA

Grassl Hartmut, Max Planck Institute for Meteorology, Germany

Jacquinet Nicole, Ecole Polytechnique, France

Johannessen O.M., NERSC, Bergen, Norway

Kokhanovsky Alexander, Institute of Remote Sensing University of Bremen, Germany

Kyrola Erkki, Finnish Meteorological Institute, Finland

Menzel W. Paul, University of Wisconsin, USA

Rozanov Eugene, World Radiation Center. Davos, Switzerland

Smirnov Alexander, NASA/Goddard Space Flight Center, USA

Smith William L., Hampton University, USA

ISARD-2011 PROGRAM COMMITTEE

Honorary Chairman – G.S. Golitsyn, Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

Chairman – Yu.M. Timofeyev, Saint-Petersburg State University, Russia

Vice-Chairman – A.I. Pogoreltsev, Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

Committee Members:

Bass L.P., Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Moscow, Russia

Bobylev L.P., Nansen Environmental and Remote Sensing Center, St. Petersburg, Russia

Chen B.B., Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Republic of Kirghizia

Chubarova N.E., Lomonosov Moscow State University, Russia

Dmitrieva-Arago L.P., Russian Hydrometeorological Center of Russia, Moscow, Russia

Elansky N.F., Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

Fomin B.A., Central Aerological Observatory, Moscow, Russia

Gavrilov N.M., Saint-Petersburg State University, Russia

Gorchakov G.I., Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

Grassl Hartmut, Max Planck Institute for Meteorology, Germany

Grechko E.I., Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

Holben Brent N., Goddard Space Flight Center, USA

Jacobi Christoph, University of Leipzig, Institute for Meteorology, Leipzig, Germany

Jacquinet Nicole, Ecole Polytechnique, France

Johannessen O.M., NERSC, Bergen, Norway

Karol I.L., Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

Kokhanovsky Alexander, Institute of Environmental Physics, University of Bremen, Germany

Kunitsyn V.E., Lomonosov Moscow State University, Russia

Kutuza B.G., Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, Moscow, Russia

Kyrola Erkki, Finnish Meteorological Institute, Finland

Menzel W. Paul, University of Wisconsin, USA

Mikhailov E.F., Saint-Petersburg State University, Russia

Mokhov I.I., Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

Nerushev A.F., Institute of Experimental Meteorology, Obninsk, Russia

Osipov V.M., Research Institute for Complex Testing of Optoelectronic Devices and Systems, Sosnovy Bor, Russia

Petrushin A.G., Institute of Experimental Meteorology, Obninsk, Russia

Pokrovsky O.M., Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

Rozanov Eugene, World Radiation Center, Davos, Switzerland

Semenov A.I., Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

Shchukin G.G., Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

Shefov N.N., Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia

Smirnov Alexander, NASA/Goddard Space Flight Center, USA

Smith William L., Hampton University, USA

Smyshlyaev S.P., Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Sporyshev P.V., Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

Troitsky A.V., Radiophysical Research Institute, Nizhni Novgorod, Russia

Uspensky A.B., Scientific Research Center for Space Hydrometeorology "Planeta", Moscow, Russia

Yankovsky V.A., Saint-Petersburg State University, Russia

Yushkov V.A., Central Aerological Observatory, Moscow, Russia

Zadorozhny A.M., Novosibirsk State University, Russia

Zege E.P., Stepanov Institute of Physics, Minsk, Belorussia

Организационный комитет Симпозиума МСАРД-11

1. Ю.М. Тимофеев – председатель
2. Е.М. Шульгина – секретарь
3. Е.Ф. Михайлов
4. А.В. Поберовский
5. Х.Х. Имхасин
6. Т.И. Рышкевич

Организаторы Симпозиума

Санкт - Петербургский Государственный Университет
Российская комиссия по атмосферной радиации
Российский государственный гидрометеорологический университет
Институт физики атмосферы РАН им. А.М. Обухова
Главная Геофизическая Обсерватория им. А.И. Воейкова
Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию
им. Нансена
НПО "Планета"
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Институт Экспериментальной Метеорологии

ISARD-2011 Organizational Committee

1. Yu.M. Timofeyev – Chairman
2. E.M. Shulgina – Secretary
3. E.F. Mikhailov
4. A.V. Poberovsky
5. H.H. Imhasin
6. T.I. Ryshkevich

ISARD-2011 Organizers

Saint-Petersburg State University
Russian Radiation Commission
Russian State Hydrometeorological University
Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Science
Voeikov Main Geophysical Observatory
Nansen Environmental and Remote Sensing Center
Scientific Research Center for Space Hydrometeorology "Planeta"
Lomonosov Moscow State University
Scientific and Production Association "Typhoon"

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ PLENARY SESSION

Московская дымная мгла 2010: метеорологические условия, аэрозольное и газовое загрязнение, радиационный режим атмосферы

Горчаков Г.И.¹ (gengor@ifaran.ru), Свириденков М.А.¹, Семутникова Е.Г.², Чубарова Н.Е.³, Холбен Б.Н.⁴, Смирнов А.В.⁴, Емиленко А.С.¹, Исаков А.А.¹, Копейкин В.М.¹, Пономарева Т.Я.⁵, Карпов А.В.¹, Курбатов Г.А.³, Лезина Е.А.²

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

²ГПУ "Мосэкомониторинг", Москва, Россия

³Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

⁴Biospheric Science Branch, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA

⁵Гидрометцентр России, Бол. Предтеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия

В июне–августе 2010 г. на Европейской части России (ЕЧР) располагался квазистационарный блокирующий антициклон. Длительные положительные аномалии температуры воздуха во многих регионах ЕЧР привели к засухе, способствовавшей возникновению крупномасштабных лесо-торфяных пожаров и, как следствие, к интенсивному задымлению атмосферы. Устойчивость пограничного слоя атмосферы, контролируемая прямыми измерениями температуры воздуха на телебашне Останкино и методом СВЧ-зондирования, способствовала интенсивному задымлению приземного слоя атмосферы [1]. По данным экологического мониторинга в г. Москве и Подмосковье были проанализированы вариации концентраций газовых компонент загрязнения и массовой концентрации аэрозоля в период задымления. Были зарегистрированы экстремально высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха угарным газом (до 37 мг/м³) и беспрецедентно большие для г. Москвы значения (до 1.6–1.7 мг/м³) массовой концентрации аэрозоля с размерами частиц меньше 10 мкм (PM10). Выявлены аномально высокие концентрации формальдегида (до 210 мкг/м³) в задымленной городской атмосфере. Выполнен статистический анализ вариаций концентраций газовых примесей и аэрозоля.

Представлены результаты радиационно-климатического мониторинга аэрозоля в г. Москве и Подмосковье. Установлено, что летом 2010 г. в период задымления в Московском регионе наблюдались рекордно высокие значения оптической толщины атмосферы (до 4.5). Показано, что в 2010 г. дым лесо-торфяных пожаров отличался необычными оптическими характеристиками. В приземном слое атмосферы были зафиксированы отрицательные значения степени линейной поляризации рассеянного света, а спектральная прозрачность толщи задымленной атмосферы в логарифмических координатах аппроксимировалась полиномом второй степени. Показано, что необычность оптических свойств дымового аэрозоля объясняется узким распределением частиц аэрозоля по размерам, который был сосредоточен в субмикронном диапазоне. По данным измерений на телебашне Останкино проанализированы вариации концентраций газовых примесей в пограничном слое городской атмосферы и оценено содержание угарного газа в пограничном слое атмосферы над городом. Показано, что основные источники аэрозоля и угарного газа в период интенсивного задымления г. Москвы и Подмосковья находились в Шатурском районе Московской области и в Рязанской области. Определены радиационные характеристики дымового аэрозоля, что позволило рассчитать радиационный форсинг на верхней и нижней границах задымленной атмосферы.

1. Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г. и др. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля задымленной атмосферы Московского региона в 2010 году. Доклады АН, 2011, 437, 5, 686–690.

Moscow smoky haze 2010: meteorology, air pollution, radiative effects

Gorchakov G.I.¹, Sviridenkov M.A.¹, Semoutnikova E.G.², Chubarova N.Ye.³, Holben B.N.⁴, Smirnov A.V.⁴, Emilenko A.S.¹, Isakov A.A.¹, Kopeikin V.M.¹, Ponomareva T.Ya.⁵, Karpov A.V.¹, Lezina E.A.²

¹*Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia*

²*Mosecomonitoring, Moscow, Russia*

³*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

⁴*Biospheric Science Branch, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA*

⁵*Hydrometcenter RF, Moscow, Russia*

A quasi-stationary blocking anticyclone was located over the European part of Russia (EPR) in June–August 2010, resulting in the prolonged positive temperature anomaly, the drought and the forest – peat bog fires followed by the large – scale smoke screening of the EPR. The atmospheric boundary layer stability, which was evaluated from the temperature profiles measurement data, was favorable to the intense smoke screening of the surface layer [1]. Aerosol and gaseous air pollution variations in the smoky atmosphere were analyzed using ecological monitoring data for Moscow region. Extreme high concentrations (for Moscow) of the carbon monoxide (37 mg/m³) and aerosol (1.7 mg/m³ for PM₁₀) were detected. The great concentrations of the formaldehyde (about 0.2 mg/m³) were found. Statistical analysis of gaseous species and aerosol concentrations has been carried out.

Results of the aerosol radiative-climatic monitoring in Moscow region are presented. It was found that the extreme high values of the optical depth (to 4.5) took place in summer 2010. The smoke of the forest-peatbog fires was characterized by an unusual optical properties. Negative values of the degree of linear polarization were registered in surface layer of the atmosphere. Spectral extinction of the smoky atmospheric column can be successfully approximated by polynomial of the second order in the logarithmic scales. It was shown that the optical property peculiarities of the smoke aerosol are due to its narrower size distribution function with the aerosol particles concentrated mostly in the submicron range. Variation of gaseous species concentration in the boundary layer was analyzed using the measurement data at the TV tower Ostankino. Carbon monoxide content in the smoky urban boundary layer was estimated. It was shown that the major smoke sources were in Shatura district of the Moscow Region and Rayzan Region. Radiative characteristics of the smoke aerosol were determined. Aerosol radiative forcing on the top and bottom boundaries of the atmosphere was calculated.

1. Gorchakov G.I., Sviridenkov M.A., Semoutnikova E.G. et al. Optical and Microphysical Parameters of the Aerosol in the Smoky Atmosphere of the Moscow Region in 2010. *Dokl. Earth Sci.*, 2011, **437**, 2, 513–517.

Ground-based, Airborne, and Satellite Ultra-spectral Measurements of Atmospheric Temperature and Constituent Profiles

Smith Sr., W.L.^{1,2} (bill.l.smith@cox.net), Kireev S.¹, Weisz E.², Chen Z.¹

¹ *Hampton University*, ² *University of Wisconsin-Madison, USA*

This paper describes the retrieval of atmospheric profiles from ground-based, airborne, and satellite ultra-spectral airborne measurements.

The theoretical background, retrieval approach, and example results are presented.

Transformation of the Arctic sea ice from satellite observations and modelling data

Bobylev L.P.

Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre (NIERSC), St. Petersburg, Russia; Nansen Environmental and Remote Sensing Centre (NERSC), Bergen, Norway

Sea ice is a major component of the Arctic environment that covers approximately 15 million km² of the Arctic Ocean in midwinter and typically 5–7 million km² at its summer minimum. The ice limits exchanges between the ocean and atmosphere and reflects most of the incident solar radiation. It affects the salinity content of the underlying water and overturning and ocean circulation. Therefore, changes in the sea ice cover have potential broad-range climate consequences.

One of the most important and reliable means for studying Arctic sea ice is remote sensing. Sea ice concentration, needed for ice area estimations, is being reliably retrieved from satellite passive microwave radiometers, such as SMMR, SSM/I and AMSR-E. Satellite passive microwave measurements can distinguish between multi-year ice, first-year ice and open water thus providing for their concentrations.

For sea ice thickness measurements there are two remote sensing methods. First method is based on sounding from submarines by upward looking sonar. The second method deals with retrievals of sea ice thickness from satellite altimeters.

For the sea ice area measurements satellite passive microwave data are available continuously since November 1978. These data showed that the total sea ice area was decreasing over the period 1979–2009 with the rate 4.6 % per decade or by 47430 km² per year. So, over the whole period of satellite observations the decrease of the total sea ice area accounted to about 14°. Summer sea ice was retreating two times faster – with the rate 11.1 % per decade. There is an acceleration of summer ice decrease since the beginning of this century. Unprecedented minimum summer ice cover occurred in 2007. From 2007 summer ice in the Arctic increased by 0.7 million km². But, still in 2008 and 2009 there were second and third smallest records of summer ice over the observational period and ice was far below the average in recent decades.

Multi-year ice, which is the most important sea ice from point of view of climate change study and ice navigation, is also shrinking. Our calculations using NORSEX algorithm and Kwok et al. data [1] indicate the dramatic area losses of MY ice in the last years. According to Kwok et al, between 2005 and 2008, there was a net decrease of 1540x10³ km² in the older MY ice area – a 42 % reduction. Seasonal sea ice trends are all negative.

Sea ice thickness and volume in the Arctic Ocean are also decreasing. Thus, according to Kwok and Rothrock [2], over the period from 1975–2008 the mean sea ice thickness in winter decreased from 3.64 m in 1980 to 1.89 m in 2008. The summer thickness declined from 2.80 m in 1980 to 1.15 m in 2007. This is a dramatic decrease. The trend in total ice volume is – 9.5 % per year in fall and – 5.2 % per year in winter. Total ice loss over the considered period is 42 % and 21 % for the fall and winter. The simultaneous decline in MY coverage and thickness of the MY ice in recent years considerably affected the total volume of the ice cover. In 2008 seasonal ice surpassed MY ice in winter area and volume and became the dominant ice type [1].

Climate models overestimate Arctic sea ice extent. Simulated trend rates are two times smaller than observed. The difference in sea ice concentration is largest in Kara, Laptev and East-Siberian seas and exceeds 80 %. So, there is significant disagreement between observed and modelled Arctic sea ice.

IPCC models project steady ice decrease for all seas in summer – about 50–60 % comparing the beginning of this century. To the end of the century Beaufort and Chukchi seas are projected to be almost free of ice in September. However, observed sea ice coverage and thickness decrease faster than modelled. The comparison of modelled sea ice extent with extrapolated till 2045 observational data for summer showed significant discrepancy between these two types of forecast

for most seas. So, the situation when the Arctic coastal seas in summer are the ice-free may occur earlier than the end of this century, already in the 1950s.

Arctic sea ice is affected not only by air temperature but also by climate variations in the distinct areas of the globe through atmospheric and oceanic circulation. One of the examples of such teleconnections is link between sea ice extent in the Northern Hemisphere and the sea surface temperature (SST) in the Indian Ocean. It's notable that area covering Tropical Indian and West Pacific oceans is characterized by significant negative correlation coefficients between these two parameters. Thus, the Indian Ocean, which is the strong source of energy, through atmospheric circulation, significantly contributes into changes of sea ice cover in the Northern Hemisphere, including Arctic.

1. Kwok R., Cunningham G.F., Wensnahan M. et al. Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008. *J. Geophys. Res.*, 2009, **114**, C07005. doi:10.1029/2009JC005312.
2. Kwok R. and D.A. Rothrock. Decline in Arctic sea ice thickness from submarine and ICESat records: 1958–2008. *Geophys. Research Letters*, 2009, **36**, L15501, doi:10.1029/2009GL039035.

Spectroscopy as a tool for remote sensing planetary atmosphere studies: the GEISA database 2009 edition

Jacquinet-Husson Nicole (nicole.jacquinet@lmd.polytechnique.fr), Crépeau Laurent,
Armante Raymond, Boutammine Chérif, Chédin Alain, Scott Noëlle, Crevoisier Cyril,
Capelle Virginie

Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau, France

Numerous physical phenomena that influence the radiative transfer of a planet can be discerned and often measured from the variation of specific spectral features remotely recorded. Currently, there are many satellite-based instruments recording high quality spectra in order to understand the Earth's atmospheric state in great detail, providing a wealth of information about its actual state. The role of molecular spectroscopy in modern atmospheric research has entered a new promising perspectives phase for remote sensing applications with the advent of highly sophisticated computers and spectroscopic instruments, such as, for Earth's atmosphere observation: high spectral resolution vertical infrared sounders like AIRS (<http://www-air.jpl.nasa.gov/>) on board EOS (<http://eospso.gsfc.nasa.gov/>)-Aqua (<http://aqua.nasa.gov/>) since May 2002, or IASI (<http://smc.cnes.fr/IASI/index.htm>) on board the European polar satellite Metop-A (<http://www.eumetsat.int/Home/Main/Satellites/Metop/index.html?l=en>; <http://www.esa.int/export/esaLP/LPMetop.html>) since October 2006. The January 2009 launch of the GOSAT satellite (http://www.gosat.nies.go.jp/index_e.html) is another noteworthy event. As a consequence, spectroscopy is at the root of modern meteorology, especially in the investigation of climate change, providing an improved understanding of the different phenomena driving an atmospheric system in order to predict its past and future evolution. Planetary examples include the recent Mars Express, Venus Express and Cassini-Huygens missions, studying the terrestrial planets and Jupiter, Saturn and Titan respectively. Numerous space-based missions continually provide a very large number of spectral observations which produce new revelations in planetology.

For the remote sensing of planetary atmospheres from satellite spectra measurements, an essential prerequisite is the availability of a high accuracy forward radiative transfer modeling. Related to the strong impact of the quality of the reference spectroscopic information on the research in direct and inverse planetary radiative transfer, there is an acute and constant demand for validated, operational and interactive public spectroscopic databases. In this context, the ARA group at LMD (<http://ara.abct.lmd.polytechnique.fr>) develops and maintains, for over three decades, GEISA (Gestion et Etude des Informations Spectroscopiques Atmosphériques: Management and Study of Atmospheric Spectroscopic Information), a computer accessible database system. GEISA comprises three independent sub-databases devoted respectively to: line parameters (50 molecules involved, including 111 isotopes, for a total of 3,807,997 entries, in the spectral range from 10^{-6} to $35,877.031\text{ cm}^{-1}$), infrared and ultraviolet absorption cross-sections, microphysical and optical

properties of atmospheric aerosols. It is used on-line by more than 300 laboratories working in the domains of atmospheric physics, astronomy and astrophysics, and planetology.

Since the launch of MetOp-A, GEISA is the reference basis for the validation of the level-1 IASI data, using the 4A radiative transfer model (4A/LMD; 4A/OP co-developed by LMD and Noveltis- <http://www.noveltis.fr/>, with the support of CNES).

The contents of each of the three sections of the GEISA 2009 edition will be presented. Recommendations on the quality of spectroscopic line parameters required (from the conclusions of experts involved in Atmospheric Science) will be specified in the context of comparisons between observed or simulated Earth atmosphere spectra.

GEISA is freely accessible from the CNRS/CNES/IPSL expertise center website Ether (<http://ether.ipsl.jussieu.fr/>).

Комплексные наземные исследования газового состава атмосферы в Петергофе

Тимофеев Ю.М. (tim@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Макарова М.В., Поляков А.В., Ионов Д.В., Виролайнен Я.А., Ракитин А.В., Кшевецкая М.А., Яговкина И.С., Осипов С.И., Имхасин Х.Х.

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

Описан наземный комплекс аппаратуры для измерений малых газовых составляющих (МГС) атмосферы на физическом факультете СПбГУ. В состав комплекса входит аппаратура для измерений спектров прямого солнечного ИК излучения со средним и высоким спектральным разрешением, спектрометры в УФ и видимой области спектра для измерений прямого и рассеянного солнечного излучения, МКВ спектрометр для измерений нисходящего теплового излучения атмосферы.

Приведены данные об информативности и точности измерений общих содержаний (ОС) различных МГС с помощью различных методов и приборов. Кратко описаны методики интерпретации наземных измерений. Даны примеры сопоставлений измерений ОС с различным спектральным разрешением в ИК области спектра.

Анализируются результаты сопоставлений наземных измерений ОС МГС разными методами и данными спутниковых измерений. Приведены сезонные зависимости общих содержаний ряда МГС и результаты их сопоставлений с измерениями на станциях NDACC.

Работа выполнена при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (госконтракт № П969 от 27.05.2010 и № 16.740.11.0048) и НИР СПбГУ № 11.31.547.2010 и 11.37.28.2011.

Complex ground-based investigations of gas composition of the atmosphere at Peterhof

Timofeyev Yu.M. (tim@troll.phys.spbu.ru), Poberovsky A.V., Makarova M.V., Polyakov A.V., Ionov D.V., Virolainen Ya.A., Rakitin A.V., Kshevetskaya M.A., Yagovkina I.S., Osipov S.I., Imhasin H.H.

St. Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

A set of ground-based instruments for measurements of trace gas content in the atmosphere functioning at the Faculty of Physics (St.Petersburg State University) is described. A set includes the instruments for high and medium resolution measurements of direct solar IR radiation, UV and visible spectrometers for direct and scattered solar radiation measurements, and microwave spectrometer.

The data on the information content and accuracy of measurements of total column amount (TCA) of various trace gases are presented for different methods and instruments. Methods of

interpretation of ground-based measurements are briefly described. The examples of the intercomparison of TCA measurements performed with different spectral resolution in the IR spectral region are presented.

The results of comparisons of ground-based measurements of TCA of trace gases by different methods and satellite measurements are analyzed. Seasonal dependencies of TCA of a number of trace gases and the results of comparisons with measurements at NDACC stations are presented.

The work was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation in the frame of Federal special-purpose program "Scientific and Educational Manpower of Innovative Russia" (contracts No 969 of 27.05.2010 and No 16.740.11.0048 of 31.08.2010) and by St.Petersburg State University (research projects 11.31.547.2010 and 11.37.28.2011).

Радиационные индексы климатоформирующих факторов и оценки их вкладов в антропогенные изменения климата

Кароль И.Л.¹ (karol@main.mgo.rssi.ru), Киселев А.А.¹, Фролькис В.А.²

¹Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-Красноармейская 4, 190005 С.-Петербург, Россия

Многочисленные исследования ожидаемых изменений климата строятся с использованием больших климатических моделей, включающих эффекты всех основных климатоформирующих факторов (КФФ), "движителей климата". В результатах таких моделей трудно выделить и сравнить вклады отдельных КФФ, что необходимо для смягчения возможных негативных последствий изменений климата в разных пространственных и временных масштабах. Для таких целей ныне широко используются методы оценки и сравнения таких индексов КФФ как Радиационное Воздействие, Потенциал Глобального Потепления, Эффективность Потепления Климата и др.

Представлен краткий обзор основных антропогенных КФФ, влияющих на радиационный режим атмосферы в глобальном и локальном масштабах от парниковых газов, атмосферных аэрозолей и радиационных свойств подстилающей поверхности. Оценены скорости изменения этих индексов в прошлом и в последние десятилетия и их вклада в ожидаемые изменения элементов климата разных масштабов в некоторых случаях.

Работа поддержана РФФИ, грант 11-05-00750.

Radiative indices of the climate forming factors (drivers) in assessment of the climate anthropogenic changes

Karol I.L.¹ (karol@main.mgo.rssi.ru), Kiselev A.A.¹, Frolkis V.A.²

¹Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-Красноармейская 4, 190005 С.-Петербург, Россия

Numerous current climate change projections are using the big climate models which include the effects of basic Climate Forming Factors (CFF), "climate drivers". It is difficult to find in these model results and to compare the effect and the role of separate CFF. Such evaluation is necessary for the possible effort determination to mitigate the negative consequences of climate changes in the various temporal and spatial scales. For this purpose the methods of the CFF indices calculation and comparison are widely used now such as Radiative Forcing, Global Warming Potential, Climate Forcing Efficacy and others.

A short review of the principal anthropogenic CFF indices influencing the atmospheric radiative regime in global and local scales is presented for the Greenhouse Gases, Atmospheric Aerosols and the Radiative Properties of the Earth Surface in particular. The rates of these indices

changes in the past and in the recent decades are assessed. The input of the relevant CFF in the expected change of climate elements are studied and compared in some cases and scales.

The work is supported by the Russian Basic Research Fund, Grant 11-05-00750.

Aerosol Robotic Network – latest developments; Maritime Aerosol Network as a component of AERONET – current status

Smirnov A.¹ (Alexander.Smirnov-1@nasa.gov), Slutsker I.¹, Sinyuk A.¹, Giles D.M.¹, Schafer J.¹, Holben B.N.², Eck T.F.³, O'Neill N.T.⁴

¹*Sigma Space Corporation, Lanham; NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA*

²*NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA*

³*Universities Space Research Association, Columbia; NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA*

⁴*Universite de Sherbrooke, Sherbrooke, Quebec, Canada*

Aerosol Robotic Network (AERONET) is an internationally federated global sun/sky radiometer network. It started operation in 1993 and since then expanded data collection to over 450 locations globally. The paper presents latest developments on the AERONET project. Elements of the Version 3 processing scheme are discussed. Collaborative effort in Russia and within the CIS is presented. Plans for validation field campaigns are shown.

Maritime Aerosol Network (MAN) is a component of AERONET. The current status of the network is presented. Collaborative effort within the framework of MAN and the Russian Antarctic Expedition exemplifies mutually beneficial international partnership. Data collection in maritime environments contributes to fundamental understanding of aerosol distribution over the globe. Comparison with various satellite sensors and global transport models is presented.

Развитие космической наблюдательной системы Росгидромета

Асмус В.В.¹ (asmus@planet.iitp.ru), Дядюченко В.Н.², Загребяев В.Ф.¹, Кровотынцев В.А.¹, Милехин О.Е.¹, Соловьев В.И.¹, Успенский А.Б.¹, Успенский С.А.¹

¹*НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия*

²*Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Москва, Россия*

Росгидромет является заказчиком отечественных КА ДЗЗ гидрометеорологического назначения. В рамках выполнения «Федеральной космической программы 2006–2015» ведется воссоздание отечественной космической группировки – в 2009 г. запущен полярно-орбитальный метеоспутник "Метеор-М" N1, а в январе 2011 г. – геостационарный метеоспутник "Электро-Л" N1. В докладе представлен план дальнейшего развития российской космической системы наблюдения Земли.

Работы по спутниковой тематике проводятся Росгидрометом на базе наземного комплекса приема, обработки и распространения оперативной спутниковой информации (НКПОР) ГУ «НИЦ «Планета». В состав НКПОР ГУ «НИЦ «Планета» входят Европейский (Москва-Обнинск-Долгопрудный), Сибирский (Новосибирск) и Дальневосточный (Хабаровск) центры федерального уровня (подразделения ГУ «НИЦ «Планета», действующие как единая территориально-распределенная информационная система). Система является самой крупной в России и одной из крупнейших в мире, а по охвату космическим мониторингом поверхности Земли (более 1/5 территории суши) – самой большой в мире.

ГУ «НИЦ Планета» в настоящее время обеспечивает прием и обработку данных 16-ти зарубежных и отечественных геостационарных и полярно-орбитальных спутников наблюдения Земли, подготавливает более 150 видов информационной продукции ежедневно для более чем 400 потребителей Федерального и регионального уровней.

Большой объем спутниковой информации Росгидромет получает в рамках международного сотрудничества по линии ВМО и по Соглашению Росгидромет-Eumetsat. В рамках Соглашения ГУ "НИЦ "Планета" вошел в международную систему обмена спутниковыми данными (система EARS), что обеспечило доступ к оперативным данным по Северному полушарию Земли.

В оперативном режиме подготавливается и распространяется информационная продукция о состоянии атмосферы, опасных погодных явлениях, температуре поверхности Мирового океана и суши, осуществляется мониторинг ледового (по всем морям России, Арктики и Антарктики), снежного, растительного покровов, мониторинг чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (лесные пожары, наводнения, тайфуны, извержения вулканов и т.д.), контроль загрязнений природной среды.

В докладе рассмотрены примеры оперативной спутниковой информационной продукции, производимой ГУ "НИЦ "Планета", в том числе на основе данных КА "Метеор-М" № 1. Также представлены предварительные результаты летных испытаний КА "Электро-Л" № 1.

Roshydromet space-based observation system development

Asmus V.V.¹ (asmus@planet.iitp.ru), Dyaduchenko V.N.², Zagrebayev V.F.¹, Krovotynceev V.A.¹, Milekhin O.E.¹, Solovyev V.I.¹, Uspensky A.B.¹, Uspensky S.A.¹

¹State Research Center on Space Hydrometeorology "Planeta", B. Predtechensky p. 7, 123242 Moscow, Russia

²Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Moscow, Russia

According to the Federal Space Program 2001–2015, Roshydromet together with Roscosmos developed and supported national satellite Earth observation system. The first new generation meteorological polar-orbiting satellite Meteor-M N1 was successfully launched in 2009. This year our next geostationary satellite Electro-L N1 was also launched. The commissioning phase is now in progress. The schedule for the future developments is presented.

Satellite data management in Roshydromet is being carried out by SRC Planeta. The ground segment consists of three major centers of SRC Planeta: European (Moscow, Dolgoprudny, Obninsk), Syberian (Novosibirsk) and Far-East center (Khabarovsk). All these centers are managed by one main center in Moscow. This structure allows us to cover all the territory of Russian Federation and is the largest and most complicated space observation system in Russia.

In SRC Planeta we are receiving and processing data from more than 16 different meteorological and environmental satellites. There are more than 150 types of products generated daily for over 400 users around Russia.

Following the international agreements with WMO and EUMETSAT, SRC Planeta joined the EARS system (EUMETSAT Advanced Retransmission Service) which provides operative access to the satellite data over the Northern hemisphere.

Some examples of informational products based on international and Meteor-M N1 data are presented together with the first results of Electro-L mission.

Обновленные многолетние ряды прозрачности толщи атмосферы (1906–2010), роль лесных пожаров

Охврилль Х.¹ (hanno.ohvriil@ut.ee), Нейман Л.¹, Окулов О.², Руссак В.³, Уустаре М.¹, Каллис А.², Терез Э.И.⁴, Терез Г.А.⁵, Гушин Г.К.⁶, Абакумова Г.М.⁷, Горбаренко Е.В.⁷

¹Тартуский университет, Юликооли 18, 50090 Тарту, Эстония

²Эстонский институт метеорологии и гидрологии, Эстония

³Тартуская обсерватория, Тыравере, Эстония

⁴Крымская астрофизическая обсерватория, Украина, Крым

⁵Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина

⁶Карадагская научно-исследовательская геофизическая обсерватория, Феодосия, Украина

⁷Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Многолетние изменения прозрачности толщи атмосферы, полученные на основании измерений прямой интегральной солнечной радиации, позволяют оценивать тенденции климатических изменений. В данной работе основным исследуемым параметром является Интегральный Коэффициент Прозрачности Атмосферы (ИКПА), приведенный к высоте Солнца 30 градусов – p_2 . Этот коэффициент позволяет легко получить не только другие интегральные параметры прозрачности или мутности толщи атмосферы, но и оценить спектральную Аэрозольную Оптическую Толщину (АОТ) атмосферы.

Как и в нашем прошлом докладе (МСАРД-2009) мы представим многолетние ряды p_2 для трёх различных европейских климатических зон: 1) Эстония (метеостанции Тарту-Тыравере и Тийрикоя), 2) Москва (МО МГУ), 3) Крым (Карадаг). В данном докладе эти ряды продлены до 2010 г. Для сравнения приведён ход p_2 в Павловске за 1906–1936 гг.

Наши новые находки следующие.

1. В 2009–2010 гг. сохранились высокие значения прозрачности и в Эстонии, Москве и Крыму, за исключением Москвы летом 2010 года, где катастрофические лесные и болотные пожары снизили и среднегодовую прозрачность.

2. В дополнение к 2010 г. за последнее десятилетие были ещё два года, 2002 и 2006, когда, из-за Европейских лесных пожаров, среднегодовая прозрачность как в Москве, так и в Эстонии понизилась.

3. В ходе крупного лесного пожара может образоваться высоко-кучевое-дымовое облако, *Pyrocumulonimbus*. Если такое облако образуется в Северной Америке, то его дым может пересечь Атлантический океан и появиться над Западной Европой, снижая там прозрачность атмосферы (1950, 1991, 1998 г.). В Восточной Европе влияние Американского дыма меньше, однако это было зафиксировано в Эстонии в 1991 г.

4. Внушительным примером глобального транспорта дыма является его перенос от Сибирских лесных пожаров в восточном направлении, до берегов Тихого океана, через Тихий океан в Канаду, затем через Атлантический океан в Скандинавию и через Балтийское море в Эстонию. Так случилось в мае 2003 года.

Updated multiannual time series of column transparency, impact of wildfires

Ohvriil H.¹ (hanno.ohvriil@ut.ee), Neiman L.¹, Okulov O., Russak V., Uustare M.¹, Kallis A., Terez E., Terez G., Gushchin G., Abakumova G., Gorbarenko Ye.

¹University of Tartu, Institute of Physics, Ülikooli 18, Tartu 50090, Estonia

Multiannual changes in atmospheric column transparency based on measurements of direct solar radiation allow us to assess various tendencies in climatic changes including global impact by wildfires. In this work, the main parameter is the Atmospheric Integral (broadband) Transparency Coefficient (AITC, p_2), calculated according to Bouguer-Lambert law and transformed to a solar elevation of 30°. This coefficient enables easy calculation of several other broadband parameters of column transparency and turbidity as well as transition to spectral Aerosol Optical Depth, $AOD\lambda$.

At the previous Symposium, ISARD-2009, we presented multiannual time series of the AITC for three different European climatic locations: 1) Estonia, meteorological stations Tartu-Tõravere and Tiirikoja, 2) Moscow, Meteorological Observatory of the Moscow State University, 3) Feodosiya, Karadag Geophysical Research Observatory, Crimea, Ukraine.

In this presentation the time series are updated to 2010 (incl.). For comparison, historical evolution of p_2 at Pavlovsk, during 1906–1936, is given. Our new findings are as follows.

1. In 2009–2010 the AITC kept its high values, except in Moscow during summer 2010 when catastrophic wildfires lowered the entire annual mean of column transparency.

2. During the last decade, there were two more years, 2002 and 2006, when column transparency in Estonia and Moscow was affected by wildfires.

3. Within 24 hours, smoke and heat from a wildfire is capable to create a towering cloud, *pyrocumulonimbus*, which injects biomass-burning emissions into the lower stratosphere. Material from Canada/U.S. pyroCbs clouds often crosses the Atlantic Ocean and affects Western and Central Europe. Impact on Eastern Europe is less expressed but is detectable by pyrliometric observations. Many stratospheric pollution events have been erroneously attributed to aerosols from volcanic eruptions, and therefore, should be reevaluated.

4. An impressive example on global-scale aerosol transport happened in May 2003 when smoke from Siberian forest fires, moving east, circled nearly 3/4 of the globe at 55°–60° north latitudes and was detected in Estonia in 28-May-2003.

The authors would welcome collaboration in study of multiannual trends of broadband direct irradiance and column transparency.

Long-term trends of mesosphere/lower thermosphere gravity waves at midlatitudes

Jacobi Christoph (jacobi@uni-leipzig.de)

University of Leipzig, Institute for Meteorology, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, Germany

Differences of consecutive half-hourly mean horizontal winds are used as a proxy for gravity wave activity in the period range 0.7–3 h. Long-term analyses of this proxy in the altitude range 80–95 km have been performed using the low-frequency lower E-region drift measurements at Collm, Germany from 1984 through 2007 (Transmitter Zehlendorf near Berlin, frequency 177 kHz, reflection point at 52.1°N, 13.2°E). Background winds are also registered to analyse gravity-mean flow interactions at decadal time scales. A decreasing (towards more westward directed) zonal mean wind long-term trend is observed in the summer mesosphere, which decreases with altitude and eventually reverses. The gravity wave proxy trends show opposite tendencies, i.e., decreasing mean zonal winds are connected with increasing gravity wave amplitudes and vice versa. This behaviour can be explained through linear theory: since in summer decreasing/increasing zonal westerly winds are connected with a stronger/weaker mesospheric easterly jet, this leads to larger/smaller intrinsic gravity wave phase speeds and consequently larger/smaller gravity wave amplitudes. This connection between gravity waves and mean wind is also observed on a decadal scale: during solar maximum a stronger mesospheric zonal wind jet leads to larger gravity wave amplitudes. This results in a solar cycle modulation of gravity waves with larger amplitudes during solar maximum.

Модель высотного распределения атомарного кислорода в области мезопаузы для разных уровней солнечной активности

Семенов А.И. (anasemenov@yandex.ru)

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

Разработана модель высотного распределения концентрации атомарного кислорода для ночного времени суток на высотах мезопаузы и нижней термосферы. Модель основана на данных о высотном распределении температуры средней атмосферы, полученных в течение нескольких циклов солнечной активности, а также эмпирической модели, описывающей характер вариаций параметров (интенсивность, температура и высота эмиссионного слоя) эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм для различных геофизических условий. В модели использованы современные представления о фотохимических процессах возникновения эмиссии 557.7 нм.

Представлены сезонные вариации высотного распределения концентрации атомарного кислорода и их зависимость от солнечной активности и многолетнего тренда. Сопоставление модельных результатов с данными большого числа ракетных измерений показало удовлетворительное согласие между ними. Модель может быть использована при анализе многолетних изменений состава атмосферы на высотах 80–100 км.

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-05-00062.

Model altitude distribution of atomic oxygen in the mesopause region for different levels of solar activity

Semenov A.I.

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky per.3, Moscow, Russia

The model of the altitude distribution of atomic oxygen concentration for night-time hours at altitudes of the mesopause and lower thermosphere is developed. The model is based on data on the altitudinal distribution of the temperature of the middle atmosphere obtained during several cycles of solar activity as well as an empirical model that describes the nature of the variations of the parameters (intensity, temperature and height of the emissive layer) emission of atomic oxygen 557.7 nm for different geophysical conditions. In the model uses current understanding of photochemical processes of emission of 557.7 nm. Seasonal variations in altitude distribution of concentration of atomic oxygen and their dependence on solar activity and long-term trend are presented. Comparison of model results with a large number of rocket measurements showed satisfactory agreement between them. Model can be used in the analysis of long-term changes in atmospheric composition at altitudes of 80–100 km.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no. 10-05-00062).

Исследование глобальных изменений озона и атмосферной динамики в XXI веке с помощью химико-климатической модели

Зубов В.А. (zubov@main.mgo.rssi.ru), Розанов Е.В., Егорова Т.А., Киселев А.А., Кароль И.Л., Шмутц В.

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

Химико-климатическая модель SOCOL (версия 2.0) использована для оценки глобальных изменений озона и атмосферной динамики в ходе XXI века. В качестве внешних факторов, определяющих указанные изменения, рассматривались сценарии МГЭИК и ВМО для XXI столетия – (1) эволюции атмосферного содержания парниковых газов (ПГ), (2) изменения концентрации озоноразрушающих веществ (ОРВ) и (3) согласованных с (2) изменений температуры поверхности океана и параметров морского льда (ТПО/МЛ).

Для определения и объяснения вклада каждого из указанных выше факторов в общую тенденцию изменений состава и структуры атмосферы с 2000 по 2100 г. с моделью SOCOL 2.0 были проведены три серии численных экспериментов в режиме «временной разрез» для условий 2000, 2050 и 2100 г., соответственно. Каждая серия экспериментов, исключая серию для условий 2000 г., состояла из четырех 20-летних модельных прогонов: в первом прогоне учитывалось изменение всех факторов (ПГ, ОРВ, ТПО/МЛ); во втором – только вариации ПГ; в третьем – только изменения ОРВ и в четвертом – только вариации ТПО/МЛ. Серия 2000 г. состояла из одного прогона, включающего воздействие всех факторов.

Сравнение результатов проведенных модельных экспериментов позволило оценить вклад каждого из внешних факторов в эволюцию атмосферных параметров в XXI веке на фоне внутренней изменчивости модельной атмосферы. В частности, было установлено, что в первой половине столетия атмосферное содержание озона растет главным образом в результате уменьшения концентраций ОРВ в атмосфере. Во второй половине столетия наряду с ОРВ значительный вклад в эволюцию озоносферы и усиление меридиональной стратосферной циркуляции вносят вековые вариации ПГ и ТПО/МЛ. Физические механизмы воздействия вариаций ПГ и ТПО/МЛ на динамику и концентрацию озона в стратосфере связаны с радиационным выхолаживанием стратосферы и изменением условий генерации и распространения крупномасштабных планетарных волн из тропосферы в стратосферу. При этом знак и величина влияния внешних факторов на изменчивость атмосферной концентрации озона существенно зависит от широтной зоны и высотного уровня в атмосфере.

Данная работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 11-05-00750-а).

Атмосферы внесолнечных планет

Шематович В.И. (shematov@inasan.ru)

Институт астрономии РАН, ул. Пятницкая 48, 119017 Москва, Россия

Более чем 98 % из всех известных на данный момент ~ 500 планет находятся вне Солнечной системы. Для около 20 % из них известны абсолютные массы и радиусы из наблюдений транзитов-прохождений планеты по диску родительской звезды. Большинство из недавно открытых планет обладают относительно большими массами, сходны с Юпитером и Сатурном в нашей Солнечной системе и обычно называются внесолнечными планетами-гигантами (ВПГ или горячими юпитерами). Число открытых планет в ближайшее время значительно вырастет за счет наблюдений, полученных в текущих космических миссиях, таких как CoRoT (ESA/CNES) и Kepler (NASA), в которых уже открыты планеты в широком диапазоне размеров и масс, включая планеты-океаны (горячие нептун с массами порядка $10M_E$ масс Земли) и каменные планеты земного типа (планеты-суперземли с массами порядка нескольких масс Земли). Орбиты порядка 40 % из всех открытых экзопланет расположены ближе к родительской звезде, чем орбита Меркурия вокруг Солнца. Соответственно, атмосферы таких экзопланет испытывают экстремальные воздействия интенсивных потоков плазмы и излучения в УФ- и мягком рентгеновском диапазонах от звезды, что, в частности, может приводить к потокам убегания, достаточно высоким для изменения состава атмосферы и эволюционного статуса планеты.

Прямые наблюдения атмосфер экзопланет редки из-за трудности выделения планетного сигнала из близлежащего и значительно более яркого звездного сигнала. Однако, у некоторых экзопланет плоскость орбиты лежит на луче зрения с Земли, что позволяет изучать атмосферу планеты посредством измерения поглощения излучения звезды при транзите-проходе планеты перед диском звезды. На данный момент наибольшее количество наблюдательных данных для планет-транзитов получено для атмосфер горячих юпитеров

HD209458b и HD189733b, горячего непуна GJ436b и суперземли GJ1214b. Атмосферы горячих юпитеров состоят преимущественно из водорода и гелия, планет-океанов – из метана и/или паров воды, а суперземель – из водорода и паров воды.

В докладе обсуждаются современные методы наблюдений атмосфер внесолнечных планет и аэрономические модели верхних атмосфер внесолнечных планет, разработанные на основе все нарастающего объема наблюдений. Экзопланеты, в зависимости от активности родительской звезды, массы, размера и орбиты, могут испытывать значительные потери атмосферы за время их жизни. Возможные эволюционные сценарии будут продемонстрированы на основе сравнения результатов наблюдений и расчетов при помощи гибридной аэрономической модели [1]. Подобный анализ позволяет уточнить наши представления о состоянии и эволюции протяженной верхней атмосферы экзопланеты HD209458b и других экзопланет-транзитов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-02-00479a).

1. Шематович В.И. Надтепловой водород в протяженной верхней атмосфере экзопланеты HD209458b за счет диссоциации молекулярного водорода. *Астрономический вестник*, 2010, **44**, 108–118.

Atmospheres of the extrasolar planets

Shematovich V.I. (shematov@inasan.ru)

Institute of Astronomy RAS, Pyatnitskaya str. 48, 119017 Moscow, Russia

More than 98 % of currently known ~ 500 planets were found beyond the Solar System. For more than 20 % of them the absolute mass and radius were determined from transit observations, i.e., crossings of stellar disk by the exoplanet. Majority of the recently discovered exoplanets have a relatively high mass and are similar to Jupiter and Saturn in our Solar System. Therefore they are called as extrasolar giant planets or hot Jupiters. The number of the discovered exoplanets will increase soon due to the observations by the current space missions such as CoRoT (ESA/CNES) and Kepler (NASA). In these missions the extrasolar planets in the wide range of their sizes and masses were already discovered, including ocean-planets (hot Neptunes with masses above 10 Earth mass) and rocky terrestrial planets (super-Earths with masses above a few Earth's masses). Orbits of more than 40 % of all discovered planets are placed closer to their host stars than Mercury orbit around the Sun. As a consequence, atmospheres of such exoplanets are under extreme influences of the stellar UV radiation and stellar wind plasma. Such extreme stellar energy deposition can result in the formation of high rates of atmosphere loss strong enough to change the atmospheric composition and planet's evolutionary status.

Direct observations of the atmospheres of extrasolar planets are rare because it is very difficult to extract planet signal from the close and significantly brighter stellar signal. Nonetheless, the orbits of some exoplanets lie on a line of sight with the Earth, which allows for the study of the absorption spectrum of the atmosphere of the planet transiting in front of the star. Currently, most of the atmospheric observations for transiting exoplanets were obtained for the atmospheres of hot Jupiters HD209458b and HD189733b, hot Neptune GJ436b, and super Earth GJ1214b. Main neutral species in the atmospheres of hot Jupiters are hydrogen and helium, of ocean planets (hot Neptunes) are methane and/or water vapour, and of super Earths are hydrogen and water vapour.

Modern methods of observations of the extrasolar planet atmospheres and their aeronomic models will be discussed in this talk. Atmospheres of exoplanets can experience high rates of atmospheric loss during their lifetime depending on the activity of the host star, mass, size and orbit parameters. Possible evolutionary scenarios will be discussed basing on the comparison of observations and calculations made with the hybrid aeronomic model [1]. Such analysis allows us to improve our understanding of the evolutionary state of the extended upper atmosphere of HD209458b and other transit exoplanets.

The work was supported by Russian Foundation for Basic Research, project No. 11-02-00479a.

1. Shematovich V.I. Suprathermal hydrogen produced by the dissociation of molecular hydrogen in the extended atmosphere of exoplanet HD209458b. *Solar System Research*, 2010, **44**, 96–103.

СЕКЦИЯ 1. "СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ"

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

Сопредседатели: проф. **В.Е. Куницын** (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва), д.ф.-м.н. **А.Ф. Нерушев** (НПО, "Тайфун"), к.ф.-м.н. **Л.П. Бобылев** (Нансен-центр, СПб), Prof. **O.M. Johannessen** (NERSC, Bergen, Norway), Prof. **E. Kyrola** (Finnish Meteorological Institute, Finland), Prof. **P.W. Menzel** (University of Wisconsin, USA), Dr. **A. Kokhanovsky** (Institute of Environmental Physics, University of Bremen, Germany)

SESSION 1. "SATELLITE SOUNDING OF ATMOSPHERE AND SURFACE"

Chairman: Prof **A.B. Uspensky** (SRC "Planeta", Moscow)

Co-Chairmen: Prof. **V.E. Kunitsin** (MSU, Moscow), Prof. **A.F. Nerushev** (SPA "Typhoon", Obninsk), Dr. **L.P. Bobylev** (Nansen Center, SPb), Prof. **O.M. Johannessen** (NERSC, Bergen, Norway), Prof. **E. Kyrola** (Finnish Meteorological Institute, Finland), Prof. **P.W. Menzel** (University of Wisconsin, USA), Dr. **A. Kokhanovsky** (Institute of Environmental Physics, University of Bremen, Germany)

Современные глобальные данные для различных характеристик облачности: обзор и сравнительный анализ

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

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

Сделан обзор современных глобальных полей данных для различных характеристик облачности с основным акцентом на спутниковых данных. В том числе рассматриваются базы спутниковых данных AIRS-LMD, APP-x, ATSR-GRAPE, CALIPSO, CERES, ISCCP, MISR, MODIS, PARASOL-POLDER, PATMOS-x. Проводится сопоставление с данными наземных наблюдений (база данных EECRA) и данными современных реанализов (ERA-40, ERA-Interim, JRA-25, NASA-MERRA, NCEP/NCAR, NCEP/DOE, NCEP-CFSR, NOAA-CIRES 20CR).

Проведен сравнительный анализ различных баз данных для общего количества облаков. Согласно полученным результатам доля покрытия облаками Земли по данным спутниковых и наземных наблюдений составляет около 2/3, достигая по отдельным данным 3/4. Доля покрытия облаками континентов находится в диапазоне от 1/2 до 3/5. Доля покрытия облаками Мирового океана выше – около 7/10. По данным реанализа среднегодовая доля покрытия облаками Земли в целом меньше, чем по данным наблюдений и находится в диапазоне от 1/2 до 3/5. Основной причиной неопределенности является различие в алгоритмах определения облачности и время наблюдений. Различия во временных периодах, охватываемых разными данными, сказывается на диапазоне неопределенности в меньшей степени. Наибольшие различия между данными наблюдений отмечены в регионах с высоким альбедо подстилающей поверхности, в частности над полярными широтами и пустынями субтропического пояса. В Арктике существенные различия отмечены также в регионах с частыми температурными инверсиями.

Global data for cloudiness: An overview and comparative analysis

Chernokulsky Alexander V. (chern_av@ifaran.ru), Mokhov Igor I.

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky per.3, Moscow, Russia

An analysis was carried out to overview and to intercompare several up-to-date cloudiness datasets including satellite data (AIRS-LMD, APP-x, ATSR-GRAPE, CALIPSO, CERES, ISCCP, MISR, MODIS, PARASOL-POLDER, PATMOS-x) and surface observations (EECRA) as well as contemporary reanalyses data (ERA-40, ERA-Interim, JRA-25, NASA-MERRA, NCEP/NCAR, NCEP/DOE, NCEP-CFSR, NOAA-CIRES 20CR) in terms of global, zonal and regional values of cloudiness.

Global annual-mean total cloud fraction (TCF) from different observations is about 2/3 in average. It reaches 3/4 for certain data. TCF is estimated between 1/2 and 3/5 over land and about 7/10 over ocean. According to reanalyses, TCF is evaluated between 1/2 and 3/5. The main reason for data discrepancies is associated with differences in cloud detection algorithms and observational time. Particularly, the largest distinctions between different satellite data are noted over regions with high albedo like Polar Regions and subtropical deserts. In the Arctic, major distinctions are also associated with temperature inversions.

Reprocessing HIRS data to infer global cloud cover properties and trends

Menzel Paul W.¹ (Paul.Menzel@ssec.wisc.edu), Olson Erik¹, Baum Bryan A.¹, Wylie Donald P.¹, Kolat Utkan¹, Jackson Darren L.², Bates John J.³

¹*Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies Space Science and Engineering Center 1225 West Dayton Street, University of Wisconsin -Madison, Madison, WI. USA*

²*Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, Boulder, CO, USA*

³*National Climatic Data Center, NESDIS, Asheville, NC, USA*

The frequency of occurrence of tropospheric clouds has been extracted from NOAA/HIRS (High resolution Infrared Radiometer Sounders) polar orbiting satellite data using CO₂ slicing to infer cloud amount and height. The HIRS sensor has been flown since 1979 on fifteen satellites from TIROS-N through NOAA-19 and METOP-A forming a 30-year record. Wylie et al. [1] presented a CO₂ slicing cloud record from 1979 to 2001 from the HIRS/2 sensors on TIROS-N through NOAA-14. Subsequent investigation of cloud products from the next generation HIRS/3 sensors, beginning with NOAA-15, revealed differences with those from the HIRS/2 sensors due to calibration errors.

In order to address issues affecting sensor to sensor radiance calibration and calculation of clear sky radiances, HIRS reprocessing has been (a) comparing HIRS with high spectral resolution sensors (e.g. Advanced Infrared Sounder – AIRS, Infrared Atmospheric Sounding Interferometer – IASI) to create a consistent calibration back to 2002 and using HIRS simultaneous nadir overpasses before then, (b) implementing a 101 level radiative transfer model (Pressure Layer Fast Algorithm for Atmospheric Transmittances – PFAAST) in the data reduction, and (c) refining radiance adjustments to mitigate calculated versus measured differences.

In addition, the HIRS cloud algorithm has been aligned with the Moderate resolution Imaging Spectro-radiometer (MODIS) cloud algorithm, which was tested against Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization (CALIOP) observations [2]. The associated adjustments include (d) using CO₂ slicing for all ice and mixed phase clouds and infrared window determinations for all water clouds where cloud phase is indicated by split window considerations, (e) modifying the CO₂ algorithm for top down application where the most opaque spectral band pair seeing cloud determines CTP, (f) lowering the "cloud signal" thresholds in CO₂ bands (change in radiance due to presence of cloud) to force more CO₂ slicing solutions for high thin clouds, (g) restricting CO₂ channel pair solutions to the appropriate portion of troposphere (determined by their weighting functions), (h) adjusting the ozone profile between 10 and 100 hPa to NCEP/NCAR Reanalysis values (so that CO₂ radiances influenced by O₃ profiles are calculated more accurately), (i) using a sinusoidal varying CO₂ concentration that increases 1.5 ppm per year from 337.5 in January 1980 to 381 ppm in January 2009 with a seasonal amplitude change of ± 3 ppm, and (j) identifying stratospheric clouds when an opaque band (water vapor sensitive band 12 at 6.7 μ m) is warmer than a less opaque band (window band 8 at 11 μ m). All the improvements to the heritage cloud algorithm were tested on MODIS data where comparisons with CALIOP verified that the cloud product was improved.

The cloud properties from HIRS/2 are now in family with those from HIRS/3 sensors. Trends in cloud cover and high cloud frequency for the past three decades are found to be small but

significant in these data. HIRS stratospheric cloud detection is found to be correlated with SST and lower stratospheric WV trends.

1. Wylie et al. Global cloud cover trends inferred from two decades of HIRS observations. *J. Clim.*, 2005, **18**, 3021–3031.
2. Menzel, et al. MODIS global cloud-top pressure and amount estimation: algorithm description and results. *Journ. Appl. Meteor. and Clim.*, 2008, **47**, 1175–1198.

Profiling water clouds using passive spaceborne observations

Kokhanovsky A.A. (alexk@iup.physik.uni-bremen.de), Rozanov V.V.

Institute of Environmental Physics, University of Bremen, O. Hahn Allee 1, Bremen, Germany

Studies of global microphysical and radiative characteristics of clouds are of importance for many applications including the weather prediction and climate change. The majority of current operational satellite cloud retrieval algorithms rely on bi-spectral measurements of cloud reflectance (in the visible and near infrared). These measurements enable the determination of cloud optical thickness (almost spectrally neutral due to the large size of droplets and crystals in the visible) and cloud single scattering albedo (SSA). The derived SSA can be used for the inference of the droplet or ice crystal sizes. The problem is due to the fact that the value of SSA varies along the vertical due to the vertical inhomogeneity of real-world clouds. Therefore, the retrieved sizes of particles represent some poorly defined level in the cloud. This level depends on the size of particles and also on the wavelength. Therefore, for instance, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) operational cloud product contains several sizes derived either from 1.6, 2.1, or 3.7 μm channels. Generally, the sizes of particles in shallow non-precipitating maritime clouds increase towards the top of the cloud. The derived sizes (from the cloud top) coupled with the cloud homogeneity assumption will lead to the overestimation of the cloud liquid water path in this case. The corresponding biases are relevant for water cycle and atmospheric radiative transfer studies.

The obvious way to eliminate this problem is to use multi-spectral measurements in the framework of optimal estimation approach to constrain the vertical profiles of water droplets in clouds. It is shown in this work that measurements at wavelengths 1.24, 1.6, 2.1, and 3.7 μm can be used for the determination of assumed linear profiles of sizes of water droplets in clouds. The cloud optical thickness is determined using measurements in the visible as it is done in the classical bi-spectral method. Then the profile is sought, which minimizes the difference between measured spectral cloud reflectance and the corresponding radiative transfer calculations. The minimization procedure was incorporated in the freely available radiative transfer code SCIATRAN (<http://www.iup.uni-bremen.de/sciattran/>) based on the discrete ordinates method of the vector radiative transfer equation solution. The corresponding functional derivatives of the reflectance with respect to the vertical effective radius profile needed for the inversion are calculated using the derived analytical equations based on the solution of direct and adjoint radiative transfer equations. The developed theory is applied to MODIS observations over ocean.

Современные проблемы дистанционного аэрокосмического зондирования природных сред: нанодиагностика, теория переноса излучения и супервычисления

Козодеров В.В.¹, Сушкевич Т.А.² (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А.³, Максакова С.В.³, Фомин Б.А.⁴, Волкович А.Н.⁷, Гаврилович А.Б.⁸, Дмитриев Е.В.⁶, Краснокутская Л.Д.³, Устюгов С.Д.², Шари В.П.², Фалалеева В.А.⁵, Григорьева П.П.¹, Куликов А.К.²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2, 119991 Москва, Россия

²Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

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

⁴Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

⁵Московский физико-технический институт, Институтский пер. 9, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

⁶Институт вычислительной математики РАН, Губкина 8, 119991 Москва, Россия

⁷Объединенный институт проблем информатики НАБ, Минск, Беларусь

⁸Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Беларусь

Фундаментальная научная проблема, на которую ориентирована работа, – это разработка фундаментальных основ применения нанотехнологий в космических исследованиях, связанных с перспективами использования аэрокосмических и наземных систем гиперспектрального дистанционного зондирования природных, техногенных и искусственных сред с целью их диагностики. При дистанционном зондировании природных и техногенных объектов электромагнитное излучение Земли, которое регистрируется разными средствами, является носителем информации о состоянии окружающей среды и объектов, а также радиационных процессах. На материалах аэрокосмических систем космического землеобзора и тематических наблюдений видны объекты природно-техногенной сферы: объекты энергетики, промышленной и транспортной инфраструктуры; лесные, болотные, луговые, сельскохозяйственные и другие экосистемы; водоемы, реки и океаны; сельские и городские поселения и т.д., а также последствия естественно-природных катастроф (вулканы, землетрясения и т.п.) и антропогенно-техногенных (пожары, залповые и долгодействующие аэрозольные и газовые выбросы, военные действия и т.п.) воздействий на окружающую среду.

Цель исследования – теоретически обосновать возможности новых перспективных гиперспектральных методик аэрокосмического и наземного дистанционного зондирования системы атмосфера-Земля по спектрам солнечного и собственного излучения. Научная идея состоит в том, чтобы исследовать возможности использования существенных различий в спектральном ходе поглощения и пропускания основных компонент системы атмосфера-Земля для выделения интервалов длин волн спектра многократно рассеянного солнечного и собственного излучения, информативных в отношении конкретных компонент, и на этой основе дискриминировать компоненты по их спектральным характеристикам.

Речь идет о разработке новых моделей для теоретических и методических основ математического моделирования радиационного поля Земли с высоким спектральным разрешением в диапазоне от ультрафиолета до миллиметровых волн с учетом многократного рассеяния, поглощения, поляризации и рефракции и последних достижений в молекулярной спектроскопии атмосферных газов, аэрозолей, примесей и загрязнений земной поверхности (суша, океан) с целью обеспечения теоретико-расчетных исследований процессов переноса электромагнитного излучения (фотонов) в природных средах и формирования спектральных радиационных характеристик системы "атмосфера-земная поверхность (суша, океан)" в рамках кинетической теории переноса на базе общих краевых задач для скалярного и векторного интегро-дифференциального уравнения переноса – линеаризованного приближения уравнения Больцмана с бинарными столкновениями.

В настоящее время возросла актуальность таких исследований в связи с организацией международного глобального проекта по изучению Земли, международной космической системы аэрокосмического и наземного глобального мониторинга, международных Центров

оперативной космической информации по катастрофическим и экологически опасным явлениям, а также в связи с новым этапом развития нанотехнологий для космических исследований, в частности, гиперспектрального (высокого спектрального разрешения) дистанционного зондирования объектов разной природы.

Работа поддержана грантами РФФИ (проекты 09-01-00071, 11-01-00021).

Полярные циклоны в российских морях Арктического бассейна

Заболотских Е.В.¹ (elizaveta.zabolotskikh@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П.^{1,2}, Анискина О.Г.^{1,3},
Смирнова Ю.Е.^{1,3}

*НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-
ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия*

Санкт-Петербург, Россия; Nansen Environmental and Remote Sensing Centre, Bergen, Norway

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

Полярные циклоны представляют собой кратковременные, интенсивные погодные явления, наблюдаемые над холодными водами океана, имеющие масштаб не более 100–1000 км и сопровождаемые скоростями ветра, превышающими 15 м/с. Время жизни таких циклонов от 3-х до 36 часов, что, совместно со сравнительно небольшими размерами, затрудняет их обнаружение и изучение.

Своевременное обнаружение полярных циклонов, изучение их характеристик, отслеживание движения и предсказание представляют одну из важнейших задач современной науки. Основным источником информации о полярных циклонах (ПЦ) остаются спутниковые данные и поля геофизических параметров, построенные на основе этих данных. Наиболее перспективным при изучении ПЦ представляется совместное использование данных различных приборов, позволяющее провести наиболее полный анализ погодной системы с привлечением всех возможных источников качественной и количественной информации.

На основании разработанной ранее методологии исследования полярных циклонов, основанной на использовании данных спутниковой микроволновой радиометрии, в работе исследовались структуры полей водяного пара в атмосфере над морями российского сектора Арктики. Показано, что выявление вихревых структур в полях водяного пара позволяет диагностировать случаи полярных циклонов. Комплексный анализ отдельных случаев, основанный на использовании различных спутниковых и контактных измерений, таких как, снимки инфракрасного и видимого диапазонов спектрометрических AVHRR и MODIS, измерений спутниковых микроволновых радиометров SSM/I, AMSU-B и AMSR-E, поля скоростей ветра по данным QuikSCAT SeaWinds и Metop ASCAT, данные радиозондирования и поля реанализа Era-40, позволил исследовать обнаруженные полярные циклоны и получить их количественные характеристики.

Микроволновое зондирование тропических циклонов

Митник Л.М. (mitnik@poi.dvo.ru), Митник М.Л., Гурвич И.А.

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43, 690041

Владивосток, Россия

Методы спутникового микроволнового зондирования, как пассивные – радиометрические, так и активные – радиолокационные, – наиболее пригодны для получения количественной информации о полях параметров атмосферы и океана в области тропического циклогенеза и тропических циклонов (ТЦ). Это обусловлено сочетанием ряда факторов: независимостью от солнечного освещения, возможностью находить характеристики приводного ветра и волнения при наличии облачности и осадков при одновременной оценке содержания в толще атмосферы капельной и парообразной влаги,

высоким пространственным разрешением, присущим РЛС с синтезированной апертурой, и разрешением по вертикали РЛС для зондирования осадков и облачности. Микроволновое радиометрическое зондирование Земли, начатое в 1968 г. экспериментами на спутнике Космос-243, достигло сегодня зрелого уровня. Данные микроволновых многоканальных сканирующих радиометров, установленных на спутниках серий DMSP и NOAA, спутниках TRMM, Aqua, ADEOS-II, Метеор-М № 1 и ряде других, служат основой для мониторинга тропической зоны, обнаружения и слежения за эволюцией тропических циклонов над Мировым океаном.

В докладе основное внимание уделено анализу результатов зондирования ТЦ в северо-западной части Тихого океана в 2002–2010 гг., полученных усовершенствованными радиометрами AMSR-E (спутник Aqua) и AMSR (спутник ADEOS-II). В качестве дополнительной информации привлекались изображения спектрорадиометра MODIS со спутников Terra и Aqua, скаттерометров WindSat (спутник QuikSCAT) и ASAR (спутник MetOp), карты погоды Японского метеорологического агентства, данные радиозондирования атмосферы и др. Для нескольких ТЦ были получены изображения усовершенствованной PCA ASAR (спутник Envisat). Восстановление полей скорости приводного ветра W , температуры поверхности океана t_o , паросодержания атмосферы V и водозапаса облаков Q в области ТЦ выполнялось путем обработки яркостных температур T_y по оригинальным алгоритмам, разработанным путем детального моделирования переноса микроволнового излучения в системе атмосфера-океан с использованием базы судовых и островных радиозондовых данных.

На основе численных экспериментов была найдена зависимость погрешности оценки параметров W , t_o , и V от водозапаса облаков. Погрешности возрастают – особенно при $Q > 1 \text{ кг/м}^2$, что типично для области стены глаза и спиральных дождевых рукавов ТЦ. Погрешность оценки W определяется также неопределенностью зависимости приращения коэффициента излучения морской поверхности от скорости ветра. Рассмотрена оценка скорости ветра в центральной зоне ТЦ по измерениям тепловой аномалии ядра ТЦ. Зависимость амплитуды тепловой аномалии ядра ТЦ в нижней тропосфере от минимального давления в центре была оценена по измерениям T_y на частоте 52.8 ГГц, что стало возможным благодаря высокому (10 км x 10 км) пространственному разрешению радиометра AMSR. По изменениям яркости на изображениях PCA ASAR были идентифицированы мезомасштабные вариации скорости ветра, линии шквала и отпечатки осадков в центральной зоне и спиральных рукавах ТЦ. Спутниковые микроволновые изображения были также сопоставлены с данными по вертикальной структуре облачности и осадков по измерениям со спутника CloudSat и с показаниями наземных доплеровских РЛС, что в совокупности дает более полную картину распределения геофизических полей в области ТЦ.

Microwave sensing of tropical cyclones

Mitnik L.M. (mitnik@poi.dvo.ru), Mitnik M.L., Gurvich I.A.

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Baltiyskaya St. 43, 690041 Vladivostok, Russia

Satellite microwave sensing techniques both passive – radiometric, and active – radar are the most suitable for getting the quantitative information on fields of atmospheric and oceanic parameters in the areas of tropical cyclogenesis and tropical cyclones. This is due to combination of several factors such as: independence on sun illumination, the possibility of sea surface wind and sea surface roughness study under the presence of cloudiness and precipitation with simultaneous estimate of the total cloud liquid water content and total atmospheric water vapor content; high spatial resolution of Synthetic Aperture Radars (SARs) and high vertical resolution of radars for cloud and rain sensing. Microwave radiometric sensing of the Earth which started in 1968 by Kosmos-243 experiment reached now a mature level. Data of the microwave multichannel scanning radiometers on a board of DMSP, NOAA, TRMM, Aqua, ADEOS-II, Meteor-M N 1 and several

other satellites serve as the basis for monitoring of the tropical zone and for tracing of tropical cyclone (TC) evolution over the World Ocean.

The main attention in a paper is given to analysis of sensing of TCs in the Northwest Pacific Ocean in 2002–2010, carried out by Aqua Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System and ADEOS-II AMSR. Terra and Aqua MODIS images, QuikSCAT WindSat and MetOp ASAR-derived wind fields, the Japan Meteorological Agency weather maps and radiosonde data were used as the ancillary information. Additionally, Envisat ASAR images were acquired for several typhoons. The sea surface wind W , sea surface temperature t_0 , total atmospheric water vapor content V and total cloud liquid water content Q fields in the TC area was obtained by processing of the measured brightness temperatures T_B with the use of original retrieval algorithms. The algorithms were developed by detailed modelling of microwave radiative transfer in the atmosphere-ocean system with the use of ship and island radiosonde database.

Numerical experiments allowed us to estimate the dependence of W , t_0 , and V retrieval errors from the total cloud liquid water content. The errors grows especially at $Q > 1 \text{ кг/м}^2$, that is typical for eye wall and spiral rain bands of TCs. W retrieval error depends also on ambiguity of increment of the sea surface emissivity on wind speed. Wind speed estimate in the TC central zone based on the measurements of thermal anomaly amplitude in the lower troposphere of TC core is also considered. The dependence of this anomaly amplitude on minimum central pressure was estimated from AMSR T_B measurements at frequency of 52.8 GHz having the spatial resolution of $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$. The mesoscale variations of wind speed, squall lines and imprints of rains in the TC central zone and spiral bands were identified on Envisat ASAR images. Satellite passive microwave data were also compared with vertical structure of cloudiness and precipitation derived from CloudSat measurements and with ground-based Doppler radar reflectivity maps. This combination gives more complete idea on geophysical fields in TC area.

Определение динамических характеристик тропосферы и нижней стратосферы по данным измерений с геостационарного спутника

Нерушев А.Ф. (nerushev@typhoon.obninsk.ru), Бархатов А.Э.
НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Методы пассивного дистанционного зондирования атмосферы, основанные на регистрации собственного излучения атмосферы или рассеянного и отраженного солнечного излучения, уже много лет успешно используются в ряде стран для определения поля ветра в тропосфере по перемещению атмосферных трассеров, в качестве которых выступают облака различного уровня и неоднородности концентрации водяного пара. Для определения поля ветра в стратосфере в качестве трассера предполагается использовать неоднородности концентрации озона, который можно рассматривать как консервативную примесь до высот приблизительно 25 км. Однако практическая реализация этой идеи наталкивается на ряд существенных трудностей, главной из которых является недостаточная точность спутниковых методов определения характеристик поля озона. Кроме того, с геостационарных спутников, которые обеспечивают получение информации для всего видимого диска Земли с высоким временным (15 мин и лучше) и пространственным (3 км и лучше в подспутниковой точке) разрешением, в настоящее время можно определять только общее содержание озона (ОСО) – интегральное содержание в вертикальном столбе атмосферы.

В докладе обсуждаются возможные пути получения динамических характеристик в стратосфере по данным измерений собственного излучения атмосферы в полосе поглощения озона 9.7 мкм. На основе разработанного ранее метода [1] с помощью усовершенствованного программного обеспечения оценена точность определения горизонтальной скорости ветра в нижней стратосфере для разных широтных зон и различных сезонов по восстановленным значениям поля ОСО путем сравнения с данными объективного анализа. При этом

использовались результаты вычисления полей ОСО по данным измерений аппаратуры SEVIRI геостационарного спутника Meteosat-9, полученные на основе наиболее точной в настоящее время методики [2], предоставленные в наше распоряжение авторами.

Рассчитаны и проанализированы поля динамических характеристик – горизонтальной скорости ветра (V), коэффициента горизонтальной мезомасштабной турбулентной диффузии (K_d) и завихренности ($rotV$) в тропосфере и нижней стратосфере в зонах действия циклонов тропических и умеренных широт. Динамические характеристики тропосферы определялись по данным измерений радиометра SEVIRI в каналах 0.8, 10.8, 6.2 и 7.3 мкм (трассеры – облака различного уровня и неоднородности концентрации водяного пара), а нижней стратосферы – по данным о полях ОСО. Выявлены отличительные особенности поведения указанных динамических характеристик в вихревых системах тропических и умеренных широт. Обсуждается возможность использования их в качестве прогностических признаков эволюции вихрей.

1. Нерушев А.Ф., Крамчанинова Е.К. Метод определения характеристик атмосферных движений по данным измерений метеорологических геостационарных спутников. *Иссл. Земли из космоса*, 2011, 1, 1–11.
2. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М. Усовершенствованная методика определения общего содержания озона с помощью аппаратуры SEVIRI на геостационарных спутниках Meteosat. *Иссл. Земли из космоса*, 2010, 5, 42–45.

Определение концентрации углекислого газа в атмосфере по измерениям спектрометра SCIAMACHY

Рублев А.Н. (rublev@imp.kiae.ru), Успенский А.Б., Удалова Т.А., Житницкий Е.А.
НИИ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Retrieval of atmospheric CO₂ concentration from SCIAMACHY data

Rublev A.N., Uspensky A.B., Udalova T.A., Zhitnitsky E.A.
State Research Center on Space Hydrometeorology “Planeta”, B. Predtechensky p. 7, 123242 Moscow, Russia

Представлен новый алгоритм восстановления средней объемной концентрации углекислого газа XCO_2 в атмосфере по данным спутникового спектрометра SCIAMACHY/ENVISAT. Основной особенностью разработанного алгоритма является вычисление XCO_2 с помощью линейной комбинации отношений эффективных оптических толщин, определяемых в специально отобранных парах каналов в полосах поглощения кислорода (760 нм) и углекислого газа (1400 нм). Отбор пар каналов и выбор необходимых подгоночных коэффициентов проводился по данным самолетных измерений XCO_2 в районе Сургута (лето 2003 г.).

Проверка алгоритма была выполнена на основе сравнения с независимыми самолетными измерениями в районах Новосибирска (2003 г.) и Сургута (2004–2007 гг.). Для дополнительной проверки алгоритма использовались результаты наземных измерений XCO_2 , полученных в течение двух лет (2003 и 2007 гг.) в лаборатории NOAA/ESRL на недействующем вулкане Мауна Лоа (Гавайи).

Спутниковые оценки XCO_2 , полученные для трех регионов, качественно верно воспроизводят сезонную изменчивость общего содержания диоксида углерода. Среднеквадратическое отклонение расхождений оценок XCO_2 с результатами опорных измерений не превышает 4.0 млн^{-1} .

Методика и моделирование зондирования атмосферы с помощью совместных ИК + МКВ спутниковых измерений

Поляков А.В.¹ (polyakov@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.¹, Успенский А.Б.², Косцов В.С.¹

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

²НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Методика совместного использования ИК и МКВ данных предложена и реализована в форме программного обеспечения (ПО). Моделируется ее применение при температурно-влажностном зондировании атмосферы аппаратурой ИКФС-2 и МТВЗА с борта орбитального комплекса «Метеор-ЗМ». Методика предусматривает возможность как раздельной, так и совместной интерпретации ИК и МКВ измерений при возможном наличии облачности (известны высота верхней границы и балльность). Математическую основу методики представляют метод МЛР и нелинейное обобщение метода статистической регуляризации.

Численные эксперименты проведены на основе использования ансамбля реализаций профилей температуры, влажности, содержания озона, метана и двуокиси азота, балльности облаков в поле зрения прибора, температуры и излучательной способности поверхности, водности облаков. Получены оценки погрешностей температурно-влажностного зондирования атмосферы, содержания парниковых газов, а также характеристик подстилающей поверхности при различных условиях спутниковых измерений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00797-а.

Methodology and the modeling of atmospheric sounding using combined IR and microwave satellite measurements

Polyakov A.V., Timofeyev Yu.M., Uspensky A.B., Kostsov V.S.

Faculty of Physics, St. Petersburg State University, Ulyanovskaya 1, 198504 St.Petersburg-Petrodvorets, Russia

Method of the combined using the IR and microwave data is proposed and realized as a code. Its application for the atmospheric temperature-humidity sounding by IKFS-2 and MTVZA from "Meteor-3" is modeled. The method provides possibility of both separate and joint interpretation of IR and microwave measurements under possible cloudiness with parameters (the height of upper boundary and the cloud amount) known from independent measurements. The technique is based on the multiple linear regression method and a non-linear generalization of the optimal estimation method.

Numerical experiments have been performed using an ensemble of realizations of profiles of temperature, humidity; ozone, methane and nitrogen dioxide contents; cloud amount in sight of the device, cloud liquid water; surface temperature and emissivity. Error estimates of the atmospheric temperature-humidity sounding, the retrieval of contents of greenhouse gases, and surface characteristics are estimated under different conditions of satellite measurements.

Космический мониторинг климатообразующих факторов Земли на базе ИК спектрометров высокого разрешения: перспективы и проблемы

Бойко В.А.¹ (boiko@geofizika-kosmos.ru), Петров Н.Н.², Фомин Б.А.³ (b.fomin@mail.ru)

¹НПП «Геофизика-Космос», ул. Иркутская д.11 корп.1, 107497 Москва, Россия

²Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, ул. Глебовская 20Б, 107258 Москва, Россия

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

Эффективные наблюдения за климатообразующими факторами, в особенности за их антропогенными изменениями, должны основываться на информации о состоянии и изменчивости глобальных полей концентрации аэрозоля, озона и парниковых газов (в

первую очередь H_2O , CO_2 , CH_4), а также SO_2 , являющегося основным и постоянно пополняемым источником стратосферного аэрозоля. Для таких глобальных наблюдений весьма перспективным является применение ИК-Фурье-спектрорадиометров космического базирования с целью измерения спектров уходящего излучения атмосферы, как теплового, так и солнечного, расшифровка которых даёт возможность получить требуемую информацию. Здесь следует отметить, что одним из основных физических эффектов, формирующих спектры поглощения/эмиссии радиации в тропосфере и нижней стратосфере (до высот ~ 30 км), является «ударное» уширение спектральных линий, в силу которого их ширины пропорциональны давлению. Поэтому если для получения максимально возможной информации о нижних слоях тропосферы достаточно разрешения $\sim 0.1 \text{ см}^{-1}$ (как у прибора TANSO-FTS), то для нижней стратосферы необходимо разрешение $\sim 0.01 \text{ см}^{-1}$ (как у приборов ACE и MIPAS). В противном случае спектры будут «смазаны» и произойдёт резкое снижение информативности космического эксперимента.

Если судить по известным публикациям в открытой печати, за ~ 50 лет (начиная с 1962 г. по настоящее время) в мире было создано и запущено на околоземную орбиту около 30-ти ИК-Фурье-спектрорадиометров со спектральным разрешением от $\sim 5 \text{ см}^{-1}$ до 0.01 см^{-1} . В докладе будет сделан краткий обзор полученных с их помощью результатов. Однако, основным предметом рассмотрения будет вопрос применения спектрорадиометров с разрешением $\sim 0.01 \text{ см}^{-1}$, дающих принципиальную возможность получения максимально полной информации о климатообразующих факторах. В частности, рассмотрен вопрос применения таких спектрорадиометров для получения информации о глобальном распределении аэрозоля и его оптических и микрофизических свойствах в верхней тропосфере и стратосфере. Также будут рассмотрены физико-математические проблемы, возникающие при обработке спектров.

Работа поддержана грантами РФФИ (11-01-00021 и 09-01-00071).

Relationship between aerosol optical thickness trends and population growth in the Indian subcontinent

Kishcha Pavel¹ (pavelk@post.tau.ac.il), Starobinets Boris¹, Kalashnikova Olga², Alpert Pinhas¹

1Department of Geophysics and Planetary Sciences, Tel-Aviv University, Israel

2Jet Propulsion Laboratory, Pasadena CA 91109, USA

The Indian subcontinent occupies 2.4 % of the world land mass and is home to ~ 17 % of the world population. It is characterized by a wide range of population density (P), significant population growth, and high levels of air pollution. The quantification of the effect of urbanization on AOT trends was carried out by analyzing eight-year (March 2000–February 2008) MODIS and MISR satellite data. Here we show that, over extensive areas with differing population densities, which are significant parts of the Indian subcontinent: (1) the higher the averaged population density – the bigger the averaged AOT; (2) the larger the population growth – the stronger the increasing trends in AOT. Over the regions with $P > 100 \text{ person}\cdot\text{km}^{-2}$ (more than 70 % of the territory), a population growth of $\sim 1.5 \text{ }\cdot\text{yr}^{-1}$ was accompanied by increasing AOT trends of over $2 \text{ }\cdot\text{yr}^{-1}$. The presence of the aforementioned AOT trends is evidence of air quality deterioration, in particular in the highly-populated are as with $P > 500 \text{ person}\cdot\text{km}^{-2}$. This situation could worsen with the continued growth of the Indian population.

Радиовидение слоистых структур в атмосфере и ионосфере по данным экспериментов на трассе спутник-спутник

Павельев А.Г.¹ (pvlv@ms.ire.rssi.ru), Викерт Е.², Лиу Й.³, Павельев А.А.¹, Салимзянов Р.Р.¹,
Занг К.⁴, Кулешов Ю.⁴

¹*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. ак. Б.А. Введенского д. 1,
141190 Московская обл., г. Фрязино, Россия*

²*Центр геофизических исследований (GFZ), г. Потсдам, Германия*

³*Национальный центральный университет, г. Чунг-Ли, Тайвань*

⁴*Космический центр, г. Мельбурн, Австралия*

Обоснована теоретически и подтверждена экспериментально в результате анализа голограмм, зарегистрированных в экспериментах радиопросвечивания атмосферы и ионосферы Земли, осуществленных в ходе спутниковых миссий «GPS/CHAMP», «GPS/FORMOSAT-3», и «GPS/MET», однозначная связь между интенсивностью и производными по времени фазы прошедших через исследуемую среду зондирующих радиоволн. Разработанный метод позволил определять высоту, наклон и горизонтальное смещение атмосферных и ионосферных слоев, отдельно измерять параметры слоистых и турбулентных структур при радиозондировании на трассах спутник-спутник.

На основе выявленной связи разработана технология глобального мониторинга атмосферы и ионосферы Земли и планет, апробированная при измерениях высоты и наклона слоев, а также интегрального поглощения в экспериментах радиопросвечивания на околоземных спутниковых трассах в дециметровом диапазоне радиоволн. Из измерений производной по времени доплеровского смещения частоты прошедших через исследуемую среду радиоволн осуществляются высокоточные измерения рефракционного ослабления, при этом значительно уменьшается, примерно на порядок, до уровня 0.1 дБ, абсолютная погрешность измерений интегрального поглощения, что важно при определении влагосодержания и концентрации малых газовых составляющих в атмосферах Земли и планет.

Проведено сравнение с радиоголографическими и радиотомографическими методами локализации слоев в атмосфере и ионосфере (обратное распространение, обобщенное интегральное преобразование и др.). Осуществлено обобщение предложенной методики на случай бистатической радиолокации Земли, в котором показана возможность отдельного измерения рефракционного ослабления по разности доплеровских частот прямого и отраженного сигналов и определения интегрального поглощения по ослаблению амплитуды отраженных радиоволн.

Работа выполнена при поддержке гранта №10-02-01015-а Российского фонда фундаментальных исследований и программы ОФН-15 РАН.

Radioimaging of layers in the atmosphere and ionosphere based on GPS radio occultation data

Pavelyev A.G.¹ (pvlv@ms.ire.rssi.ru), Wickert J.², Liou Y.-A.³, Pavelyev A.A.¹,
Salimzyanov R.R.¹, Zhang K.⁴, Kuleshov Y.⁴

¹*Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, Vvedenskogo sq. 1, 141190 Fryazino, Moscow region, Russia*

²*GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam, Germany*

³*National Central University, Chung-Li, Taiwan*

⁴*Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia*

Radio occultation (RO) investigation of layered structures in the atmosphere and ionosphere by use of the high-stable radio signals of the satellite navigational systems (GPS/GLONASS) are important for study of intensity of natural processes in the atmosphere and ionosphere. The advanced eikonal acceleration technique, based on simultaneous observations of the intensity and phase variations of GPS radio occultation signal, can be applied for location of layered atmospheric and ionospheric structures and estimating of their parameters as shown in some case studies. The

advantages of new technique are: (i) it is capable to establish the ionospheric and/or atmospheric origin of the phase and amplitude variations in the radio occultation signal; it can also separate and estimate the turbulence effect from the layered structures in the experimental data; (ii) it can estimate the distance from the RO ray perigee ionospheric layers and determine their inclination; (iii) it can introduce new radio-meteorological parameters useful for (1) estimation of the atmospheric and/or ionospheric distortions in the communication links satellite-to-satellite and satellite-to-Earth; (2) for evaluation of the intensity of layered structures in the atmosphere and ionosphere in a global scale. The new technique gives a promise to exclude the refractive attenuation from the amplitude data at a single frequency by use of the derivatives of the eikonal with respect to time. The remaining part of the amplitude attenuation is equal to the total absorption in the atmosphere. The total attenuation at GPS frequency (about of 1db in the lower troposphere) was preliminary estimated in the case study from GPS RO data with accuracy $\pm 10\%$ – 20% . It is important for determination of moisture and concentration of minor gas constituents in the atmospheres of the Earth and other planets.

Comparison has been made with radio-holography and radio-tomography methods of localization of layers in atmosphere and ionosphere (back propagation, generalized integral transform, etc.). Proposed technique are generalized for the case of bistatic radiolocation of the Earth, when it is become possible to measure separately refractive attenuation using Doppler shift between direct and reflected radio waves, and to determine the total absorption knowing the attenuation of reflected radio waves.

This work was supported by the RFBR grant No. 10-02-01015-a, and by the program OFN-15 of the RAS.

Использование спутниковых данных о характеристиках подстилающей поверхности при моделировании составляющих водного и теплового балансов для части Центрально-Черноземной зоны ЕТР

Старцева З.П.¹ (zoya@aquas.laser.ru), Музылев Е.Л.¹, Успенский А.Б.² (uspensky@planet.iitp.ru)

¹Институт водных проблем РАН, ул. Губкина 3, 119991 Москва, Россия

²Научно-исследовательский центр "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Utilization of satellite data on land surface characteristics in modeling water and heat balance components for a part of the Central Black Earth zone of European Russia

Startseva Z.P.¹ (zoya@aquas.laser.ru), Muzylev E.L.¹, Uspensky A.B.²

¹Water Problem Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²State Research Center of Space Hydrometeorology Planeta, Moscow, Russia

Разработана модель вертикального влаго- и теплопереноса в системе "почва-растительность-атмосфера" (SVAT), предназначенная для расчета суммарного испарения, влагосодержания почвы, потоков скрытого и явного тепла и других составляющих водного и теплового балансов в их внутрисезонной динамике как для точки, так и в виде распределений по площади. Модель позволяет также рассчитывать температуры поверхности почвы и растительного покрова и распределения влажности и температуры почвы по глубине. Исследования проводились для трех вложенных один в другой участков территории Центрально-Черноземной зоны Европейской части России площадью 23500, 52800 и 227300 км² для сезонов вегетации 2009–2010 гг. В качестве входной информации в модели использовались данные наблюдений 48 агрометеорологических станций УГМС ЦЧО.

В рамках совершенствования методов моделирования процессов водо- и теплообмена покрытых растительностью территорий с атмосферой разработаны способы ассимиляции в модели оценок метеорологических и фенологических характеристик, построенных по данным радиометров AVHRR (ИСЗ NOAA), MODIS (ИСЗ EOS Terra и Aqua) и SEVIRI (ИСЗ

Meteosat-8, -9). По данным AVHRR для названных сезонов в условиях безоблачной атмосферы получены оценки температур поверхности почвы T_{sg} и воздуха на уровне растительного покрова T_a , излучательной способности E подстилающей поверхности и ее эффективной радиационной температуры $T_{s,eff}$ (взвешенной линейной комбинации T_{sg} и T_a), интенсивности осадков Pr , нормализованного индекса вегетации $NDVI$, проективного покрытия растительностью B и листового индекса LAI . По информации MODIS подготовлен набор оценок температуры подстилающей поверхности ($TIII$) T_{ls} , E , $NDVI$, LAI для тех же участков за те же сезоны вегетации. Достоверность оценок температур, полученных по данным AVHRR и MODIS, подтверждена путем их сравнения между собой, а также с результатами наземных наблюдений. Оценки T_{ls} и E в светлое и темное время суток для исследуемого региона были также получены с помощью разработанного оригинального метода тематической обработки данных SEVIRI, основанного на последовательном применении локального алгоритма “расщепленного окна прозрачности” и метода “двух температур”. Анализ достоверности построенных оценок T_{ls} проводился путём сопоставления с ее независимыми синхронными оценками, полученными по данным SEVIRI в LSA SAF (Прикладном центре анализа спутниковых данных о поверхности Земли, Лиссабон, Португалия).

Разработка способов усвоения в модели SVAT данных дистанционного зондирования включала исследование возможности введения в модель в качестве параметров значений LAI и B , а в качестве входных переменных – значений $TIII$ и средней интенсивности осадков Pr , определенных по спутниковым данным, вместо их срочных наземных сетевых оценок. При этом разработан способ учета в модели пространственной изменчивости построенных по спутниковой информации оценок названных величин, содержащий алгоритмы и программы ввода в модель их значений в каждом узле вычислительной сетки.

С помощью модели проведены расчеты вертикальных потоков влаги и тепла, влаго- и теплосодержания почвы и других составляющих водного и теплового балансов, а также температур поверхности почвы и растительного покрова за сезоны вегетации 2009–2010 гг. при различных вариантах оценки LAI , B , $TIII$ и Pr по информации AVHRR, MODIS, SEVIRI и наземным данным. При всех вариантах задания параметров и входных переменных погрешности расчетов искомых величин оказались в допустимых пределах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – грант № 10-05-00807.

Некоторые результаты использования данных спутниковой СВЧ радиометрии для диагностики состояния многолетнемерзлых и сезонно-мерзлых почвогрунтов Евразии

Мателенок И.В. (igor_matelenok@mail.ru)

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Б. Морская
67, 190000 Санкт-Петербург, Россия

Микроволновая радиометрия широко применяется для исследования различных природных сред: атмосферы, океана, морских льдов, снежного и растительного покрова, почвогрунтов [1]. Определение причин появления радиоярких контрастов для конкретных участков суши во многих случаях затруднено вследствие малого пространственного разрешения спутниковых СВЧ радиометрических данных. Это, в частности, усложняет их использование для диагностики состояния почвогрунтов тундровой зоны, где даже в пределах небольших областей наблюдается существенная неоднородность свойств подстилающих поверхностей [2, 3]. Указанное приложение СВЧ радиометрии требует активного использования результатов наземных измерений [4]. В рамках настоящей работы проведено исследование пространственно-временной изменчивости радиоярких температур (РЯТ) подстилающей поверхности в ряде тундровых и таежных районов Евразии

в 2006 и 2007 гг. (по 6.9 ГГц данным с сенсора AMSR-E), выполнен анализ факторов (с использованием данных *in situ*), которые способны детерминировать эту изменчивость.

В годовом ходе РЯТ участков тундры нами выделено четыре периода (сезона) с разным характером изменения РЯТ и коэффициента поляризации P (положение временных границ периодов варьируется в зависимости от участка). Для таежных районов данные сезоны не выражены. Комплексный анализ спутниковых СВЧ радиометрических и наземных контактных измерений показал, что удовлетворительная корреляция между РЯТ участков тундры и термодинамической температурой почвогрунтов (ТДТГ), зафиксированной на ближайших к соответствующим участкам геофизиологических стационарах, наблюдается в зимний и летний периоды. Кроме того, в летний период обнаруживается существенная корреляция между РЯТ и температурой воздуха на метеостанциях, соседствующих с исследуемыми участками. В весенне-летний период таяния и во время осенних циклов замерзания-оттаивания отмечено наличие глубоких колебаний РЯТ, не связанных с вариациями ТДТГ. Сопоставление СВЧ измерений и метеоданных показало, что максимально резкое падение РЯТ наблюдается в те дни, когда на повышение температуры воздуха до 0°C и более накладывается выпадение жидких осадков. Нами высказано предположение, что это может быть связано с насыщением влагой снежного покрова, а после его схода – грунта за счет воды, появившейся в их поверхностных слоях вследствие таяния и жидких осадков. Высокие значения коэффициентов корреляции между годовыми рядами ТДТГ и РЯТ для многих участков объясняются, прежде всего, большой относительной длительностью сезонов стабильно мерзлого/талого состояния и малой – периодов резких колебаний РЯТ в циклах замерзания-оттаивания. Комплексный анализ информации со спутника, метеостанций и геофизиологических стационаров показал, что СВЧ излучение собственно почвогрунтов в рассматриваемых тундровых районах удается зафиксировать только в небольших интервалах времени после схода снега и до начала вегетации, и после ее завершения до установления снежного покрова.

1. Кондратьев К.Я., В.В. Мелентьев, В.А. Назаркин *Дистанционная индикация акваторий и водосборов*. СПб.: Гидрометеиздат, 1992, 248 с.
2. Zuerndorfer B. W., A. W. England, M. C. Dobson, F. T. Ulaby. Mapping freeze/thaw boundaries with SMMR data. *Agric. For. Meteorol.*, 1990, 52, 199–225.
3. Melentyev V. V., O. M. Johannessen, L. P. Bobylev. Siberian permafrost and seasonally frozen grounds: parameters retrieval using microwave satellite data. *Исследование Земли из космоса*, 2005, 5, 1–7.
4. Jones L.A., J.S. Kimball, K.C. McDonald et al. Satellite microwave remote sensing of boreal and arctic soil temperatures from AMSR-E. *Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2007, 45, 7, 2004–2018.

Improving Snow Remote Sensing Using Asymptotic Analytical Description of Snow BRDF

Appel Igor (igor.appel@noaa.gov)
IMSG/NOAA, Washington, USA

Numerous applications of snow remote sensing to a great degree depend on using visible and near-infrared spectral bands providing higher-resolution data on changes in snow cover state, though the data could have gaps. The task of snow remote sensing is significantly complicated by variability of natural conditions. Improved snow cover retrieval is achievable by the algorithms that take into account the variability in space and time of snow and non-snow spectral signatures. Such enhancement could be made by employing scene-specific parameters characterizing local properties of snow and non-snow spectral endmembers.

Several algorithms including fractional snow retrievals, developed by the author, explore the opportunity to improve the quality of snow information. The algorithms were accepted to provide VIIRS snow products, implemented to routinely generate global maps of snow cover fraction at GSFC/NASA, and extensively validated. Proper validation is a critically important means to compare different approaches to snow cover retrieval. Daily snow depth data acquired from more

than 1000 World Meteorological Organization (WMO) stations and approximately 1500 US Cooperative stations are currently used to estimate the accuracy of snow extent derivation.

Stratified estimates of the algorithms performance allow us to consider the influence of viewing and illumination conditions upon the quality of retrievals and to indicate potential ways of improvement. A major resource for future developments is a model-based description of snow reflectances, explaining their variability by different regional conditions including the influence of snow grain size, anisotropy of snow reflectance, the atmosphere parameters, and geometry of observations to bring measurements to normalized conditions to improve the quality of snow retrieval.

In visible and near infrared bands, typical snow grain sizes belong to the regime of geometric optics. The tools of geometric optics describe angular dependencies of reflectance, and a simple asymptotic analytical solution of a radiative transfer equation for a semi-infinite snow layer could be applied to calculate bidirectional reflectance.

The technique of geometric optic, as distinct from often used Mie Scattering theory, significantly simplifies the calculations without using any assumptions about distribution of radiation intensities within snow and demonstrates obvious advantages even in calculating integrated characteristic of radiation transfer.

The analytical BRDF model robustly simulates MODIS directional reflectance observations used as a standard of radiative measurements, as well as albedo, total transmission, and absorption over all range of solar zenith angles.

Overall, the innovative development of scene-based algorithms is a very powerful way to significantly improve the accuracy of snow cover derivation and the technique of geometric optics robustly reproduces directional reflectance even for large zenith angles demonstrating advantages for numerous applications including sensor calibration.

Космические проекты: теория переноса излучения и REMOTE SENSING, информационно-математический аспект и супервычисления (история и перспективы). (Посвящается 100-летию М.В. Келдыша и 50-летию полета Ю.А. Гагарина)

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru)

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

Настоящий доклад посвящается 100-летию юбилею Главного Теоретика космонавтики академика М.В. Келдыша (10.02.1911–24.06.1978) – идеолога и организатора космических исследований и 50-летию запуска в Советском Союзе 12 апреля 1961 года ПЕРВОГО в истории земной цивилизации человечества "корабля-спутника" – так называл Главный Конструктор космонавтики академик С.П. Королев искусственный спутник Земли с космонавтом – и полета в космическое пространство ПЕРВОГО в мире космонавта – гражданина Советского Союза Юрия Алексеевича Гагарина (09.03.1934–27.03.1968) – ГЛАВНЫМ событиям 2011 года, объявленного международным годом космоса.

Основное внимание уделено проблемам информационно-математического обеспечения проблем космонавтики: исторический экскурс и современные перспективы. Речь идет о проектах навигации, ориентации, стабилизации космических кораблей, упреждения стартов ракет из космоса, космического землеобзора, Лунном проекте, пионерских космических исследованиях по дистанционному зондированию Земли, которые проводились советскими космонавтами на пилотируемых космических кораблях и долгосрочных орбитальных станциях. Отмечена важнейшая роль Главного Теоретика космонавтики академика М.В. Келдыша, который фактически определил основные направления становления и развития космических исследований и дистанционного аэрокосмического зондирования Земли как планеты, называемых в настоящее время во всем мире кратко REMOTE SENSING.

О космических исследованиях заговорили в 1955 году. М.В. Келдыш – идеолог и организатор космических исследований. По указанию М.В. Келдыша летом 1955 года из Академии наук СССР разослали письма ученым разных специальностей с одним вопросом: Как можно использовать космос? Мнений и предложений было много и разных. Для убеждения руководителей СССР в необходимости освоения космического пространства и запусков космических спутников и кораблей М.В. Келдыш выделил две главные задачи: разведка и наблюдения Земли, вокруг которых сформировались многие научно-исследовательские проекты. В ноябре 1955 года из АН СССР в ЦК КПСС и Совет Министров было направлено письмо с Программой космических исследований. Так возникло новое научное направление, которое во всем мире называют REMOTE SENSING. Актуально и в XXI веке. Между СССР и США БЫЛ ДОСТИГНУТ ПАРИТЕТ по межконтинентальным баллистическим ракетам, и остро стояла проблема разработки и создания ПРО (противоракетной обороны). М.В. Келдыш предложил концепцию УПРЕЖДЕНИЯ СТАРТОВ РАКЕТ из КОСМОСА. Этот фантастический проект до сих пор актуален и является мощным фактором сдерживания военных конфликтов.

Работа поддержана грантами РФФИ (проекты 09-01-00071, 11-01-00021) и проектом ПФИ РАН (ПФИ ОМН № 3(3.5)).

Анализ возможности мониторинга приповерхностной температуры воздуха по данным геостационарных метеорологических спутников

Успенский С.А. (uspensky@planet.iitp.ru), Успенский А.Б., Рублев А.Н.
НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Analysis of land air temperature mapping capabilities with geostationary satellite data

Uspensky S.A., Uspensky A.B., Rublev A.N.
State Research Center on Space Hydrometeorology "Planeta", B. Predtechensky p. 7, 123242 Moscow, Russia

Данные о приповерхностной температуре воздуха T_a (на уровне 2 м), измеряемой на сети наземных метеостанций, широко используются в различных приложениях, включая задачи агрометеорологии, усвоение в схемах численного анализа и прогноза погоды, моделях гидрологического цикла. Наряду с T_a для ряда приложений требуется знание разности $\Delta = |T_a - T_s|$, где T_s – температура поверхности почвы. В работе рассмотрены методы дистанционной оценки температуры T_a над сушей по данным измерений аппаратуры SEVIRI, установленной на европейских геостационарных метеорологических спутниках Meteosat-8,-9. Ранее была показана возможность дистанционного определения T_s с приемлемой точностью по данным SEVIRI в каналах N 9 (IR 10.8) и N 10 (IR 12.0) расщепленного окна прозрачности. Кроме того, установлена малая информативность данных SEVIRI указанного состава по отношению к T_a и потребность привлечения дополнительной информации для получения спутниковых оценок T_a , Δ .

Одним из очевидных способов привлечения дополнительной информации является использование существующих корреляционных связей между T_a и T_s . В работе испытаны два способа учета указанных корреляционных связей: построение регрессии T_a на T_s с использованием дополнительных предикторов на основе выборки наземных измерений *in-situ* и замена T_s на спутниковую оценку $T_{s,СП}$ для дистанционного определения T_a ; построение и применение для дистанционного определения T_a регрессии T_a на $T_{s,СП}$ с использованием дополнительных предикторов на основе выборки синхронных наземных наблюдений T_a и спутниковых оценок $T_{s,СП}$. В качестве дополнительных предикторов использовались высота наблюдательной площадки, солнечный зенитный угол, порядковый номер дня в текущем месяце.

Оба подхода были испытаны на выборках синхронных спутниковых и наземных наблюдений на 48 станциях Курского региона и Центрально-черноземных областей России (6 стандартных синоптических сроков) для вегетационных периодов 2006–2009 гг. Первый подход позволяет получать оценки T_a со среднеквадратичной погрешностью порядка 2.0 К только для темного времени суток (21.00; 00.00; 03.00 СГВ). Второй подход обеспечивает получение оценок T_a с погрешностью не хуже 2.8 К для всех 8 синоптических сроков.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 10-05-00807.

Comparison of Kriging and IDW methods in preparing the maps of precipitation

Hoseini Leila (hoseini87@yahoo.com), Memarian Mohammad Hossein, Gheibi Abolhasan
Hormozgan University, Yazd University, Iran

Geographic Information System (GIS) is a new technique which is used in many hydrological and meteorological researches. In this study precipitations map for south and central part of Iran during the experimental period, years of 2000–2006, using kriging and IDW interpolation methods in GIS environment have been evaluated. Kriging method is a statistical estimation method, which using known values and a spatial correlation function of points, will estimate the unknown quantities. In IDW interpolation method, stations (points) have a weight and the impact of each point on the other points is a function of inverse distance. Because of unambiguous dependence between the rainfall and elevation, the study areas based on climate zones are classified. The study area composed of several climate regions. The accuracy of Kriging and IDW methods are estimated using cross validation. By comparing the error indicators such as MPE and RMSPE, we found that, in the GIS environment, Kriging method has an advantages on the IDW method for the estimating of precipitation.

Опыт валидации спутниковых оценок параметров облачного покрова и осадков

Волкова Е.В., Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru)
НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Example of validation of cloud cover and precipitation estimates from satellite data

Volkova E.V., Uspensky A.B.
State Research Center on Space Hydrometeorology "Planeta", B. Predtechensky p. 7, 123242 Moscow, Russia

Одним из основных информационных продуктов дистанционного зондирования атмосферы являются оценки параметров облачного покрова и осадков, получаемые по данным спектрометрических измерений с полярно-орбитальных и геостационарных метеоспутников. Подобные оценки регулярно производятся в ГУ "НИЦ "Планета" по данным измерений радиометра AVHRR ИСЗ серии NOAA (регионального покрытия) и аппаратуры SEVIRI ИСЗ "Meteosat-9". Ведется разработка методов и технологий обработки измерений с отечественных метеоспутников нового поколения серии "Метеор-М" (аппаратура МСУ-МР, аналог AVHRR) и "Электро-Л" (аппаратура МСУ-ГС, аналог SEVIRI) для получения данных об облачном покрове и осадках регионального и глобального покрытия.

Для эффективного использования получаемых информационных продуктов необходима их валидация (оценка достоверности и точности). Валидация спутниковых оценок параметров облачности и осадков осуществляется путем сравнения с: а) данными наземных наблюдений за облачностью и погодой на метеостанциях; б) данными измерений

метеорологических радиолокаторов наблюдательной сети Росгидромета; в) независимыми оценками параметров облачности, производимыми в зарубежных спутниковых центрах.

В работе в качестве примера валидационных исследований представлены результаты сравнения спутниковых оценок параметров облачного покрова (облачная маска, высота верхней границы облачности), получаемых по данным SEVIRI/"Meteosat-9", с независимыми оценками (по данным SEVIRI), производимыми в Eumetsat. Достоверность спутниковых данных об осадках (детектирование зон осадков, их интенсивность и тип), а также о количестве облачности оценивалась путем сопоставления с синхронными наземными наблюдениями на метеостанциях. Выполнен анализ результатов валидации и сформулированы рекомендации по проведению указанных работ применительно к данным отечественных спутников "Метеор-М", "Электро-Л".

Использование измерений геостационарного спутника "METEOSAT-9" для исследования климатологии облачного покрова и осадков

Волкова Е.В., Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru)
НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

METEOSAT-9 data usage for cloud and precipitation climatological applications

Volkova E.V., Uspensky A.B.

State Research Center on Space Hydrometeorology "Planeta", B. Predtechensky p. 7, 123242 Moscow, Russia

Созданная в ГУ "НИЦ "Планета" пороговая методика автоматической классификации данных измерений аппаратуры SEVIRI/METEOSAT-9 позволяет в круглосуточном режиме детектировать облачность и определять параметры облачного покрова, выделять зоны осадков и опасных явлений (ОЯ) погоды (гроза, град и обледенение в облаках) разной интенсивности. Методика применима для территории обзора ИСЗ METEOSAT-9 (~ 65° с.ш.–65° ю.ш. и 65° з.д. –65° в.д.) в течение всего года независимо от состояния подстилающей поверхности. Валидация перечисленных информационных продуктов, которая проводилась на материале архива синхронных спутниковых и наземных метеорологических наблюдений, показала достаточную достоверность результатов классификации.

Высокая периодичность получения информации об облачном покрове, осадках и ОЯ по данным наблюдений с геостационарного ИСЗ и приуроченность к заданным временным интервалам позволяет использовать её для глобального и субглобального мониторинга облачного покрова и его параметров: оценивать состояние поля облачности в разные сезоны, разное время суток, над разными типами подстилающей поверхности и в разных регионах, отслеживать его динамику и изменчивость в зависимости от разных факторов.

В данной работе на основе сформированного архива наблюдений SEVIRI/METEOSAT-8, 9 за 2006–2010 гг. проанализирована возможность климатических исследований изменчивости значений количества облачности, интенсивности осадков, вероятности и интенсивности гроз и града. Оценки этих параметров суммировались для всего архива спутниковых наблюдений и для отдельных периодов: «май–сентябрь», «ноябрь–март», «день» (12 ч ГВ $\pm$ 1 ч) и «ночь» (0 ч ГВ $\pm$ 1 ч). Для двух параметров (количество облачности и вероятность покрытия небосвода облачностью) расчёты были выполнены также отдельно для северного, южного, восточного и западного полушарий (в пределах зоны обзора ИСЗ METEOSAT-9) и периодов «май–сентябрь/день», «май–сентябрь/ночь», «ноябрь–март/день» и «ноябрь–март/ночь», а также отдельно для территории суши и Мирового океана.

В качестве примеров «климатических» продуктов представлены графики годового хода количества облачности (над сушей, океаном, в светлое и темное время суток), среднее распределение облачности для территории обзора ИСЗ METEOSAT-9 и др. Сравнения

полученных «климатических» оценок количества облачности с аналогичными оценками по данным из известных спутниковых архивов (ISCCP и др.), архива наземных наблюдений подтверждает их пригодность для исследования временной и пространственной изменчивости поля облачности при различных масштабах осреднения.

Inversion of Remote Sensing Data in Compact EOF Domain

Liu X.¹ (xu.liu-1@nasa.gov), Zhou D.K.¹, Larar A.M.¹, Smith W.L.²

¹NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23681, USA

²Hampton University, VA 23668, and University of Wisconsin, Madison, WI 53706 USA

The current and next generation satellite infrared sensors such as AIRS, IASI, CrIS, and CLARREO all have one thing in common: large number of spectral channels. In order to fully utilize the information content of these sensors, a large number of Radiative Transfer (RT) calculations through the inhomogeneous atmosphere are needed. Usually, only subsets of channels are used to perform physical inversions for atmospheric profiles due to computational limitations. We will describe a retrieval algorithm using a Principal Component-based Radiative Transfer Model (PCRTM) for generating atmospheric temperature/moisture/ozone profiles and surface properties. The retrieval algorithm performs both the radiative transfer calculations and inversions in the Principal Component (PC) domain. The inversion algorithm is based on a non-linear Levenberg-Marquardt method with climatology covariance matrices and a priori information as constraints.

One advantage of this approach is that it uses all information content from the ultraspectral data so that the retrieval is less sensitive to instrument noise and eliminates the need for selecting a sub-set of the channels. We will also use data collected during the Joint Airborne IASI Validation Experiment (JAIVEx) field campaign to validate the algorithm and IASI retrievals.

Об отражении электромагнитных волн от диэлектрического слоя со случайными неоднородностями диэлектрической проницаемости в приложении к морскому льду

Крайнюков И.А.^{1,2} (igor.krainukov@niersc.spb.ru), Зернов Н.Н.¹ (zernov@paloma.spbu.ru),

Александров В.Ю.² (vitali.alexandrov@niersc.spb.ru)

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

²НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

В данной работе рассмотрена задача об отражении наклонно падающей горизонтально поляризованной волны от диэлектрического слоя со случайными флуктуациями диэлектрической проницаемости, при этом, в отличие от многих других работ на подобную тему, где рассматриваются либо флуктуации только вещественной части [1], либо только мнимой части [2] проницаемости, предполагается, что флуктуируют обе части комплексной диэлектрической проницаемости.

Предполагая взаимную статистическую и функциональную независимость этих случайных флуктуаций, их зависимость исключительно от вертикальной координаты и дельта коррелированность, постоянство фоновой комплексной диэлектрической проницаемости рассматриваемой среды, для введенной путём усреднения дельта-функции плотности вероятности функции U , определяющей модуль комплексной поправки R к комплексному коэффициенту отражения, из уравнения Риккати для R с помощью формулы Фуруцу-Новикова для расщепления корреляций было получено уравнение Эйнштейна-Фоккера (УЭФ). Путём усреднения входящих в это уравнение тригонометрических функций от фазы комплексной величины R получается "укороченное" УЭФ для плотности вероятности $P(U)$, где единственной переменной является U . Стационарное решение этого

уравнения соответствует случаю отражения от полупространства (фактически это означает, что прошедшая в диэлектрический слой волна затухает до дальней границы слоя и, таким образом, от неё не отражается). Такое решение было найдено интегрированием дифференциального уравнения первого порядка, которое следует из укороченного УЭФ.

Полученные в работе результаты интересны с точки зрения дистанционного зондирования различных сред, проникновение волны на заданной частоте в которые оказывается существенным, и флуктуации диэлектрической проницаемости которых оказывают заметное влияние на характер распространения волны. При этом стационарное решение УЭФ для плотности вероятности коэффициента отражения может хорошо описывать ситуации, когда вошедшее в среду поле, хотя и проникает достаточно глубоко, затухает до достижения полей участков резкого изменения коэффициента преломления среды. Анализ поведения глубинных профилей комплексной и мнимой частей диэлектрической проницаемости, который был проведён на основе формул [3], связывающих значения солёности и температуры (см., в частности, [4]) с комплексным показателем преломления (диэлектрической проницаемостью), показывает, что такой средой в некоторых случаях может быть морской лёд, в частности, многолетний.

Следует отметить, что проведённые для характерных значений диэлектрической проницаемости верхнего (распределённого) слоя многолетнего льда [4] и типичных значений характеристик случайных флуктуаций диэлектрической проницаемости морских льдов [5] расчёты на основе упомянутого ранее стационарного решения УЭФ свидетельствуют о том, что зависимость среднего значения модуля комплексной поправки R от угла падения носит возрастающий характер, но выражена при этом весьма слабо.

1. Кляцкин В.И. Стохастические уравнение и волны в случайно-неоднородных средах. М.: Наука, 1980, 336 с.
2. Зернов Н.Н. Об отражении одномерного волнового поля от полупространства с флуктуациями проводимости. *Изв. ВУЗов, Радиофизика*, 1986, **XXIX**, 12, 1425–1429.
3. Богородский В.В., Козлов А.И. *Микроволновая радиометрия земных покровов*. Л.: Гидрометеиздат, 1985, 272 с.
4. Carsey Frank D. *Microwave Remote Sensing of Sea Ice*. American Geophysical Union, Washington, DC, Geophys. Monogr. 68, 1992, 462 pp.
5. Vallese, F. and Kong, J. A. Correlation Function Studies for Snow and Ice. *J. Appl. Phys.*, 1981, **52**, 4921–4925.

CrIS retrieval algorithm test and results

Zhou Daniel K. (daniel.k.zhou@nasa.gov), Liu Xu, Larar Allen M., and Smith William L.
NASA Langley Research Center, Mail Stop 401A, Hampton, VA 23681, USA

The NPOESS Cross-track Infrared Sounder (CrIS) is scheduled to launch. The CrIS is a Fourier Transform Spectrometer making infrared ultraspectral measurements. This talk presents atmospheric profile results based on the single field-of-view retrieval system for all-weather conditions applied to the CrIS spectral radiance measurements, the proxy data generated from the Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI) measurements during the Joint Airborne IASI Validation Experiment. An advanced retrieval algorithm with a fast radiative transfer model, including cloud effects, is used for atmospheric profile and cloud parameter retrieval. This physical inversion scheme has been developed, dealing with cloudy as well as cloud-free radiance observed with ultraspectral infrared sounders, to simultaneously retrieve surface, atmospheric thermodynamic, and cloud microphysical parameters. A fast radiative transfer model is used for atmospheric profile and cloud parameter retrieval. A one-dimensional (1-d) variational multi-variable inversion solution is used to improve an iterative background state defined by an eigenvector-regression-retrieval. The solution is iterated in order to account for non-linearity in the 1-d variational solution. Profile retrievals with the CrIS are validated through comparisons with profiles observed with dedicated sondes. The capability of satellite CrIS ultraspectral IR remote sensor to observe fine-scale horizontal thermodynamic features with high vertical resolution is demonstrated.

PPDF-based method to account for atmospheric light scattering in observations of carbon dioxide from space: Application to GOSAT data processing

Oshchepkov Sergey (sergey.oshchepkov@nies.go.jp), Bril Andrey, Maksyutov Shamil, Morino Isamu, Yokota Tatsuya

Satellite Remote Sensing Research Section, NIES GOSAT Research Project, Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 JAPAN

This paper presents a method to detect optical path modification due to atmospheric light scattering in space-based greenhouse gas spectroscopic sounding. This method, which was applied to the analysis of radiance spectra measured by the Greenhouse Gases Observing Satellite (GOSAT), is based on the path length probability density function (PPDF) and on retrieval of PPDF parameters from radiance spectra in the oxygen A-band of absorption at $0.76\ \mu\text{m}$. We show that these parameters can be effectively used to characterize the impact of atmospheric light scattering on carbon dioxide retrieval in the CO_2 absorption bands at $1.6\ \mu\text{m}$ and $2.0\ \mu\text{m}$. The threshold for PPDF parameters is set so that the optical-path modification is negligible, and these settings are recommended as a basic guideline for selecting the clearest atmospheric scenarios. Application of this method to the processing of one year GOSAT data from June 2009 to May 2010 shows that PPDF-based selection efficiently removes CO_2 retrieval biases associated with subvisible cirrus and sand storm activities. The retrievals are validated by comparison with those derived from FTS measurements for Total Carbon Column Observing Network (TCCON) validation sites.

Пассивное корреляционное зондирование N_2O с борта космической станции

Баландин С.Ф. (bal@iao.ru), Шишигин С.А.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

Выбросы в атмосферу закиси азота (N_2O) — главная угроза озоновому слою Земли в XXI веке. Большая часть закиси азота образуется естественным путем, благодаря активной переработке азота бактериями в почве и воде. Основная масса N_2O расположена в слоях атмосферы на высотах от 0 до 20 км. Толщина слоя закиси азота, приведённого к нормальным условиям давления и температуры (760 мм рт. ст. и 0°C), в среднем для всей Земли составляет 0.25 см. N_2O поглощает радиацию в разных участках спектра, наиболее интенсивно — в полосах в области 589 (17 мкм), 1286 (7.8 мкм), 2223 (4.6 мкм) cm^{-1} . Содержание N_2O в атмосфере определяется из химического анализа проб воздуха, взятых на разных высотах, а также оптическими методами [1]. Одним из наиболее перспективных методов дистанционных измерений содержания N_2O в атмосфере является газокорреляционная спектроскопия [1, 2].

Для оценки чувствительности данного метода к мешающим газам и изменениям температуры при измерении содержания N_2O в атмосфере использовалась модель многослойной атмосферы. В каждом из слоёв атмосферы были заданы, усреднённые по глубине слоя, её параметры: давление, температура, концентрации газов N_2 , O_2 , CH_4 , O_3 , CO , CO_2 , N_2O , H_2O . Расчёты спектров ослабления ИК излучения атмосферными газами проводились с помощью информационной системы “SPECTRA” ИОА СО РАН [2].

Анализ спектра ослабления излучения N_2O в окне прозрачности атмосферы показал, что участок спектра в области $2530\text{--}2590\ \text{cm}^{-1}$ наименее подвержен влиянию других атмосферных газов. Наибольшее влияние на процесс спутниковых измерений N_2O в этом спектральном интервале могут оказывать H_2O и CH_4 . Корреляционная кювета длиной $\sim 0.5\ \text{cm}$, наполненная закисью азота с давлением $\sim 0.3\ \text{atm}$., является оптимальной для данного радиометра.

Проведенные расчёты показали, что вариации объёмной концентрации паров воды от 0.1 до 1.3 % в нижнем 5 км слое атмосферы приводят к изменению аппаратной функции в пределах 0.7–1 %, а вариации содержания CH_4 , к её отклонению менее 1 %. Изменение аппаратных функций при варьировании вертикального распределения температуры в атмосфере на 3–5 К, составляет ~ 3.5 %.

Таким образом, влияние на погрешность измерения содержания N_2O в атмосфере вариаций содержания не измеряемых газов, изменения профиля температуры атмосферы не превышает 5 % при априорном задании с необходимой точностью вертикального распределения метеорологических параметров атмосферы и отсутствии облаков.

1. Виролайнен Я.А., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М. Возможности определения вертикальной структуры содержания озона по наземным измерениям ИК излучения. *Изв. РАН, ФАО*, 1997, **33**, 4, 464–467.
2. Баландин, С.Ф., Старновский С.А., Шишигин С.А. Анализ возможного применения метода корреляции газовых светофильтров для измерения содержания метана в атмосфере со спутника журнал. *Оптика атмосферы и океана*, 2008, 10, 897–901.

Space-station passive correlation N_2O sensing

Balandin S.F. (bal@iao.ru) and Shishigin S.A.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Academician Zuev sq. 1, Tomsk 634055, Russia

Atmospheric emission of nitrogen oxide (N_2O) is the main threat to the Earth's ozone layer in XXI century. The most part of nitrogen oxide is naturally formed due to nitrogen cycle processes with participation of water and soil bacteria. The main N_2O fraction is located in the atmosphere at altitudes from 0 to 20 km. The Earth-average thickness of the nitrogen oxide layer, reduced to the standard conditions (pressure of 760 mm Hg and temperature of 0 °C), is 0.25 cm. N_2O absorbs radiation in different spectral ranges, the most intensive absorption is in bands within the 589 (17 μm), 1286 (7.8 μm), and 2223 cm^{-1} (4.6 μm) regions. The N_2O content in the atmosphere is found from the chemical analysis of air samples taken at different altitudes, as well as by optical techniques [1]. One of the most promising remote sensing techniques for atmospheric N_2O is the gas-correlation spectroscopy [1, 2].

To estimate the sensitivity of this technique to disturbing gases and temperature variations along with variations in N_2O content in the atmosphere, the multi-layer atmosphere model was used. The following atmospheric parameters averaged over the layer thickness were specified in every layer: pressure; temperature; N_2 , O_2 , CH_4 , O_3 , CO , CO_2 , N_2O , and H_2O concentrations. Spectra of IR radiation attenuation by atmospheric gases were calculated with the use of "SPECTRA" information system (IAO SB RAS) [2].

The analysis of spectra of N_2O attenuation in an atmospheric window has shown that the 2530–2590 cm^{-1} spectral range is the least exposed to the influence of other atmospheric gases. H_2O and CH_4 can mostly affect the satellite N_2O measurements in this spectral range. A correlation cell of about 0.5 cm in length filled with nitrogen oxide with a pressure of 0.3 atm is optimal for the given radiometer.

The performed computations have shown that variations in the water vapor volume fraction from 0.1 to 1.3 % in the lower 5-km atmospheric layer result in variations in the device response function within the 0.7–1 % limits, and variations in CH_4 content, in its deviation by less than 1 %. The device response function varies by about 3.5% when varying the vertical air temperature distribution by 3–5 K.

Thus, the influence of variations in concentrations of not measured gases on the measurement error of N_2O content in the atmosphere and variations in the air temperature profile do not exceed 5 % at a vertical distribution of weather parameters a priori specified with a required accuracy in absence of clouds.

1. Virolainen Ya.A., A.V. Polyakov, and Yu.M. Timofeev. *Izv. RAS, Atm. and Ocean Physics*, 1997, **33**, 4, 464–467.
2. Balandin S.F., S.A. Starnovskii, and S.A. Shishigin. *Atm. Oceanic Optics*, 2008, **21**, 10, 897–901.

Обоснование технических характеристик макета корреляционного радиометра для измерения метана в атмосфере с аэрокосмической платформы

Баландин С.Ф. (bal@iao.ru), Шишигин С.А.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

Анализ эффективности работы корреляционного радиометра в различных спектральных интервалах оптимальной полосы поглощения метана (7.8 мкм) показал, что наиболее информативным участком спектра для измерений содержания метана во всей толще атмосферы со спутника является область 1220–1260 см⁻¹. При использовании ИК фотоприёмника с порогом чувствительности 10⁻⁹ Вт/см·Гц^{1/2} минимальное угловое поле зрения составляет 8 градусов. Это обусловлено энергетическими требованиями к уровню полезного сигнала, необходимого для надёжной регистрации изменения информационного сигнала на тысячные доли. Пространственное разрешение на местности при регистрации с высоты 200 км и 500 км составит соответственно ~ 28 км и 70 км.

Исследовано влияние атмосферных газов (H₂O, N₂O) и температуры воздуха на погрешность этих измерений. Определена оптимальная концентрация метана в корреляционной кювете аэрокосмического радиометра для измерения общего содержания метана в атмосфере.

Как показывают оценки, вариации измеряемых значений содержания метана во всём столбе атмосферы корреляционным газоанализатором аэрокосмического базирования не превышают 2 % при использовании сезонных моделей вертикального распределения параметров атмосферы, описывающих распределение температуры и удельной влажности воздуха с погрешностью 5 К и 1 г/кг, соответственно.

Validation of specifications of a prototype of correlation radiometer intended for satellite measurements of atmospheric methane

Balandin S.F. (bal@iao.ru) and Shishigin S.A.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Academician Zuev sq. 1, Tomsk 634055, Russia

Analysis of the correlation radiometer efficiency in different spectral ranges of the optimal methane absorption band (7.8 μm) shows the 1220–1260 cm⁻¹ region to be the most informative for satellite measurements of methane throughout the air column. A minimum angular field of the IR photodetector with a threshold of sensitivity of 10⁻⁹ W/cm Hz^{1/2} is equal to 8 deg. This is caused by energy demands to the strength of the useful signal required for reliable recording of data signal changes of thousandth. The spatial ground resolution is about 28 and 70 km when recording from altitudes of 200 and 500 km, respectively.

The influence of atmospheric gases (H₂O and N₂O) and air temperature on the error of these measurements is studied. The methane concentration in a correlation cell of the satellite radiometer optimal for measurements of total methane in the atmosphere is determined.

According to estimates, variations in values of the columnar methane measured by the space correlation gas analyzer do not exceed 2 % when using seasonal models of vertical distribution of the atmospheric parameters, which describe temperature and specific air humidity distributions with errors of 5 K and 1 g/kg, respectively.

Оценки характеристик влагосодержания атмосферы и приземной температуры воздуха по данным микроволнового зондирования с ИСЗ "Метеор-М" № 1

Крамчанинова Е.К. (alexpr11@yandex.ru), Успенский А.Б., Черный И.В.

НИИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Представлены материалы оценки качества измерительной информации микроволнового сканера-зондировщика МТВЗА-ГЯ, установленного на ИСЗ «Метеор-М» №1 (запуск 17 сентября 2009 г.), и исследования ее пригодности для восстановления профилей $Q(p)$ отношения смеси водяного пара в тропосфере и приземной температуры воздуха T_a над поверхностью суши. Анализу подвергались измерения, прошедшие процедуру абсолютной калибровки и представленные в терминах яркостных температур $T_y(K)$. Качество данных МТВЗА-ГЯ оценивалось для областей над водной поверхностью (Атлантика) и сушей (различные регионы Европы и область Сахары) путем сравнения измеренных и модельных T_y . Для моделирования измерений МТВЗА-ГЯ использована радиационная модель, разработанная в СПбГУ, результаты объективного анализа полей температуры и влажности из базы данных Гидрометцентра России, а также данные об излучательной способности подстилающей поверхности из базы данных Atmospheric and Environmental Research (<http://ftp.aer.com/emis>). Сравнение измеренных и модельных яркостных температур в каналах сканера показало наличие значительных систематических смещений и стандартных отклонений, что может быть объяснено неточностью абсолютной калибровки и повышенным уровнем инструментального шума.

Для восстановления профилей влажности $Q(p)$ по измерениям зондировщика МТВЗА-ГЯ во «влажностных» каналах (в диапазоне 183.31 ГГц) МТВЗА-ГЯ применялся метод множественной линейной регрессии. Оработка метода и контроль результатов восстановления $Q(p)$ осуществлялись с использованием данных объективного анализа полей температуры и влажности. Результаты экспериментов по определению $Q(p)$ на основе модельных измерений МТВЗА-ГЯ близки к аналогичным зарубежным оценкам. Установлена возможность получения оценок $Q(p)$ в слое 1000–400 гПа со средней относительной погрешностью не хуже 20 % (при уровне инструментального шума 1.5 К). Результаты экспериментов по определению $Q(p)$ на основе реальных измерений МТВЗА-ГЯ показывают более высокую погрешность оценивания $Q(p)$ – до 30 % над водной поверхностью и до 46 % над сушей.

Восстановление приземной температуры воздуха над поверхностью суши по данным МТВЗА-ГЯ было выполнено для областей, характеризующихся минимальным содержанием влаги (район пустыни Сахара, отсутствие облаков) с применением линейной регрессионной модели. В качестве предикторов использовались значения T_y , измеренные в каналах 18.7H, 23.8V, 36.7V, 91.65V (H и V – горизонтальная и вертикальная поляризации соответственно). Согласно результатам экспериментов по обработке реальных данных МТВЗА-ГЯ (17, 18, 19 марта 2010 г.) среднеквадратическая погрешность определения T_a составляет около 3.0 К (при сравнении с результатами объективного анализа полей T_a и удалении систематических смещений).

Numerical experiments for the CO₂ and CH₄ retrieval from the GOSAT/TANSO data

Romanov S.¹ (svr_home@mail.ru), Payan S.¹, Camy-Peyret C.¹, Uspensky A.²

¹Universite Pierre et Marie Curie, LPMMA, 4 place Jussieu, 75252, Paris, France

²Scientific and Research Center "Planeta", Roshydromet, Moscow, Russia

The thermal and near infrared sensor for carbon observation (TANSO) on board the greenhouse gases observing satellite (GOSAT) opens new opportunities for detecting the space and time variations of atmospheric carbon dioxide and methane concentrations. The capabilities to

retrieve atmospheric column-averaged CO₂ and CH₄ mixing ratios from satellite measurements is of major importance in the context of global climate change studies, due to the sparse network of ground-based observations.

The physical retrieval method is applied to the CO₂ and CH₄ total column from the GOSAT/TANSO measurements of outgoing radiation in the TIR. An information content analysis of the measurements has been performed for the selection of an optimal subset of channels. The retrieval scheme based on clear sky data has been implemented for the Northern Europe region in spring 2010. The method has been validated against the collocated ground-based or balloon measurements.

Исследование динамики термокарстовых озер Западной Сибири, основанное на спутниковых радиолокационных данных

Бадак Л.А.^{1,2} (liubava_badak@mail.ru), Бобылев Л.П.² (adm@niersc.spb.ru)

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

²НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Исследование динамики термокарстовых озер было проведено по данным ENVISAT ASAR Wide Swath Mode (пространственное разрешение 75 м) с 2003 по 2009 год для двух тестовых участков на территории Западной Сибири: полуострова Ямал и около пос. Уренгой. Все данные были калиброваны, геокодированы и классифицированы. В ходе классификации термокарстовые озера были распознаны на космических снимках. Отображена динамика термокарстовых озер с помощью наложения друг на друга пар классифицированных изображений разных лет.

Полученные результаты показали, что площади термокарстовых озер на полуострове Ямал как увеличивались, так и уменьшались в течение исследованного периода, но преобладал процесс уменьшения площади термокарстовых озер. Размер озер на втором тестовом участке (около пос. Уренгой) слишком мал, для того, чтобы могли быть сделаны какие-либо выводы, поэтому для исследования этой территории следует использовать космические снимки более высокого разрешения, например, данные ENVISAT ASAR Image Mode (пространственное разрешение 30 м).

Investigation of thermokarst lake dynamics in the Western Siberia Based on radar data

Badak L.A.^{1,2} (liubava_badak@mail.ru), Bobylev L.P.¹

¹Russian State Hydrometeorological University, Malookhtinsky pr. 98, Russia, 195196 St. Petersburg, Russia

²Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, Vasilievsky Island, 14th Line7, office 49, 199034 St.Petersburg, Russia

Studying of thermokarst lake dynamics was made on the basis of series of ENVISAT ASAR Wide Swath Mode images (spatial resolution 75 m) from 2003 till 2009 for two test sites in the Western Siberia: at Yamal peninsula and near Urengoi town. All of data sets were calibrated, geocoded and classified. Thermokarst lakes were detected in the satellite images in the course of the classification. Thermokarst lake dynamics was mapped by overlapping of pairs of the classified images for different years.

The results showed that thermokarst lake areas at Yamal peninsula both increased and decreased for the examined period but the process of lake area decreasing was prevalent. The size of the lakes at second test site (near Urengoi city) is too small to make conclusions so it should be used higher resolution data like ENVISAT ASAR Image Mode (spatial resolution 30m) for investigation of this territory.

Проявления макротурбулентности в измерениях сети спутникового мониторинга

Хуторов В.Е. (pri870@yandex.ru)

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Кремлевская 18, 420008 г. Казань, Россия

Исследования мезомасштабной и локальной атмосферной динамики является одной из важнейших современных научных задач. Атмосферные процессы этого типа оказывают влияние и на распространение электромагнитных волн. Поэтому задача оценки влияния макротурбулентности может быть решена при измерениях на специализированной сети приемников спутниковых навигационных систем GPS-ГЛОНАСС, разнесенных на расстояния от нескольких сотен метров до нескольких километров.

По данным, полученным с помощью сети приемников, рассчитаны структурные функции тропосферной задержки радиоволн. Найдены показатели степени структурной функции, изменяющиеся во времени за исследуемый период в пределах 0.6–0.8. Рост структурной функции с расстоянием свидетельствует о том, что в исследуемой области пространственных масштабов присутствуют атмосферные флуктуации, дающие существенный вклад в дисперсию атмосферных параметров и, соответственно, тропосферных задержек радиосигналов.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Государственный контракт № П162).

СЕКЦИЯ 2. "ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА"

Председатель: проф. Ю.М. Тимофеев (СПбГУ, СПб)

Сопредседатели: д.ф.-м.н. В.Н. Арефьев (ИЭМ, Обнинск), д.ф.-м.н. Г.Г. Щукин (ГГО, СПб), д.ф.-м.н. Б.Г. Кутуза (ИРЭ РАН, Москва), д.ф.-м.н. А.В. Троицкий (НИРФИ, Н.-Новгород), д.ф.-м.н. Б.Б. Чен (КРСУ, Бишкек, Киргизия), Dr. Brent N. Holben (Goddard Space Flight Center, USA), Prof. William L. Smith (Hampton University, USA)

SESSION 2. "REMOTE SENSING OF ATMOSPHERE AND UNDERLYING SURFACE IN DIFFERENT SPECTRAL RANGES"

Chairman: Prof. Yu.M. Timofeyev (SPbSU, Saint-Petersburg)

Co-chairmen: Prof. V.N. Arefyev (SPA "Typhoon", Obninsk), Prof. G.G. Shchukin (MGO, SPb), Prof. B.G. Kutuza (IRE RAS, Moscow), Prof. A.A. Troitsky (RRI, N.-Novgorod), Prof. B.B. Chen (KKPCY, Bishkek, Kyrgyzstan), Dr. B.N. Holben (Goddard Space Flight Center, USA), Prof. W.L. Smith (Hampton University, USA)

Вариации содержания оксида углерода в атмосферной толще центральной части Евразии

Арефьев В.Н.¹, Кашин Ф.В.¹, Сизов Н.И.¹ (las@typhoon.obninsk.ru), Упэнэк Л.Б.¹,
Синяков В.П.² (Sinvalery@yandex.ru)

¹НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

²Киргизский национальный университет, ул. Манаса 101, 720033 Бишкек, Киргизстан

Представлены результаты измерений содержания СО в толще атмосферы, полученные на станции мониторинга «Иссык-Куль» (42°37'20" N, 76°59'08" E, 1650 м над уровнем моря) методом солнечной молекулярно-абсорбционной спектроскопии. Аппаратура, методики измерений и обработки полученных данных приведены в [1].

Анализ средних месячных значений содержания СО показал наличие сезонных вариаций, максимумы и минимумы которых, обусловленные внутригодовыми изменениями источников и стоков СО, приходятся на февраль и сентябрь. Амплитуды сезонных вариаций составили $(55 \pm 10) \%$ от среднего значения (108.84 ± 5) ppb за год. Средняя годовая величина концентрации СО за время измерений (с 07.2004 по 09.2008 г.) уменьшилась на $\sim 7 \%$. Показатель линейного тренда составил -1.4% в год.

Для прогноза изменений среднего месячного значения концентрации СО приводится модель, которая включает линейный тренд и составные колебания. Проведено сопоставление результатов измерений содержания СО в толще атмосферы с данными приземных измерений СО на других станциях мониторинга атмосферы. Для сравнений выбраны станции с совпадающим временем наблюдений и расположенные на широтах, близких к широте станции мониторинга «Иссык-Куль». Линейный тренд на всех станциях отрицательный. Характеристики сезонных вариаций практически совпадают, все основные характеристики и тенденции изменчивости концентрации СО на всех станциях удовлетворительно согласуются.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00356-а).

1. Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Семенов В.К. Результаты экспериментальных исследований радиационно-активных составляющих атмосферы в центре Евразии. В кн.: *Глобальные изменения климата и их последствия для России*. Ред. Г.С. Голицын, Ю.А. Израэль. М.: 2002, 212–222.

Variations of carbon monoxide in the atmospheric depth over the central territory of Eurasia

Aref'ev V.N.¹, Kashin F.V.¹, Sizov N.I.¹. (las@typhoon.obninsk.ru), Upenek L.B.¹, Sinyakov V.P.²

¹RPA "Typhoon", 4 Pobedy Str., 249038 Obninsk Kaluga Region, Russia

²Kyrgyz National University, 101 Manas Str., 720033 Bishkek, Kyrgyzstan

The measurement results of CO content in the atmospheric depth obtained at the Issyk Kul monitoring station (42°37', 20"N, 76°59' 08"E, 1650 m above the sea level) with the solar molecular-absorption spectroscopy method are presented. The instrumentation, measurement and data processing methods are shown in [1].

The analysis of mean monthly contents has shown the existence of seasonal variations, the maximum and minimal values of which (in February and September) are caused by intraannual changes in CO sources and sinks. The amplitudes of seasonal CO variations made (55 ± 10) % of a mean total value (108.84 ± 5) ppb per year. An average annual concentration of CO for the measurement period (since 07.2004 to 09.2008) decreased by about 7%. The linear trend index was -1.4 % per year.

For forecasting the changes of CO mean monthly concentrations a model comprising the linear trend and variations components is given. The CO content measurement results obtained in the atmospheric depth were compared with the data of ground-based measurements made at other atmospheric monitoring stations. For comparison the stations with coinciding in time measurements located at the latitudes close to that of the Issyk Kul atmospheric monitoring station were chosen. The linear trend at all the stations was negative. The characteristics of seasonal variations practically coincide, all the basis characteristics and tendencies of CO concentration variability are in a satisfactory agreement at all the stations.

The work was done under financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFFI) (Project No. 10-05-00356-a)/

1. Aref'ev V.N., Kashin F.V., Semenov V.K. The results of experimental studies of radiatively-active atmospheric constituents for the center of Eurasia. In book: *Global changes of climate and their consequences for Russia*. Ed. Golitsyn G.S., and Israel Yu.A. Moscow: 2002, 212–222.

Общее содержание окиси углерода в атмосфере Москвы и ее окрестностей по данным наземных и спутниковых измерений во время природных пожаров летом 2010 г., оценка эмиссий

Фокеева Е.В.¹ (efokeeva@ifaran.ru), Ракитин В.С.¹, Сафронов А.Н.¹, Юрганов Л.Н.² (yurganov@umbc.edu), Гречко Е.И.¹, Шумский Р.А.¹

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

²Joint Center for Earth Systems Technology, University of Maryland, Baltimore County, Baltimore, MD, USA

Работа посвящена изучению экстремального загрязнения атмосферы Центра Европейской территории России окисью углерода во время пожаров лета 2010 г. Аномально жаркая погода летом 2010 г. вследствие блокирующего антициклона вызвала длительную засуху и пожароопасную обстановку во второй половине июля и возникновение многочисленных очагов природных пожаров. Представлены результаты наземных (станция Института физики атмосферы РАН в центре г. Москвы, станция наблюдений состава атмосферы МГУ и Звенигородская научная станция – ИФА ЗНС в 53 км к западу от Москвы) и спутниковых (МОПИТТ, AIRS спутников Terra и Aqua) измерений общего содержания и концентрации окиси углерода CO.

В предшествующий пожарам период отмечается хорошее соответствие результатов наземных спектроскопических и орбитальных измерений МОПИТТ и AIRS общего содержания CO. В период наибольшего загрязнения воздуха (2.08–9.08.2010 г.) спутниковые значения общего содержания CO вследствие низкой чувствительности спутниковых

сенсоров к приземному слою существенно ниже (в 2 раза и более) наземных, измеренных в ИФА и на ЗНС.

Пространственно-временное распределение лесных и торфяных пожаров получено с помощью орбитальных данных MODIS спутников Terra и Aqua. Проведено сравнение подобных ситуаций пожаров 2010 и 2002 г., и выявлена причина более высоких уровней загрязнения воздуха в 2010 г. Применение траекторного анализа, детализированных космических снимков и модельных расчетов позволило выявить расположение и вклад торфяных пожаров в загрязнение воздуха над Московским мегаполисом. Приводятся оценки эмиссий CO от пожаров, полученные двумя независимыми способами.

Работа поддержана грантом РФФИ №11-0500305.

Ground-based and satellite CO total column observations over Moscow and its suburbs during strong forest fires in central Russia, summer 2010, emission estimates

Fokeeva E.B., Rakitin V.S., Safronov A.N., Grechko E.I., Shumsky R.A., Yurganov L.N.*

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky per.3, Moscow, Russia

**Joint Center for Earth System Technology, University of Maryland Baltimore County, Baltimore, MD, USA*

The extreme carbon monoxide pollution of atmosphere of central part of European territory of Russia during wildfire period of summer 2010 has been studied. Anomaly hot weather of summer 2010 was due to blocking anticyclone and led to prolonged drought and fire- dangerous conditions in second half of July and occurrence of numerous wild fires. The report presents data from two ground-based grating spectrometers and two non-dispersive IR analyzers in Moscow city and outskirts (Zvenigorod, 53 km west from the city) during strong forest fires at central Russia, summer 2010. Period July 20–August 20 was characterized by very high CO total column and surface CO concentrations. These data were compared to CO total column measured by space-based sounders (MOPITT and AIRS).

During the period just before fire activity, data for the space-based sounders are very close to CO total column measured by ground-based grating spectrometer. On certain days (2–9 August, 2011) in conditions of strong pyrogenic pollution near the surface, CO total columns retrieved from the data of the space-based sounders were 2–3 times less than those obtained from the ground-based sun-tracking spectrometers. That is due to a very low sensitivity of IR sounders in the boundary layer.

Space-time distribution of forest and peat fires was studied by the MODIS data of Aqua and Terra satellites. To comparing of similar situations of peat fires in 2010 with 2002 the reason of higher levels of the air pollution in 2010 was explained. The trajectory analysis and detailed satellite images and model calculations allowed determining the peat fires location and their impact to air pollution over Moscow metropolis. The CO wildfire emissions were estimated by two different methods.

This work was supported by RFBR №11-0500305.

Spectroscopic study of methane total column amount in the atmosphere near Saint-Petersburg, Russia

Makarova M.V. (zaitis@troll.phys.spbu.ru), Poberovsky A.V., Osipov S.I., Imhasin H.H.,

Timofeyev Yu.M.

St.Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

Methane is one of the most important “greenhouse” gases in the Earth’s atmosphere. Currently, the relative contribution of CH₄ to radiation forcing is of about 20 % [1]. Methane plays a noticeable role in the atmospheric chemistry: in the troposphere, its reactions with OH and O₃ are important; in the stratosphere, methane is a source of H₂O and hydrogen and a sink of chlorine [2].

This work presents twenty years observations (1991–2010) of CH₄ total column amount (TCA) near Saint-Petersburg. Ground-based IR spectroscopic measurements of CH₄ TCA are carried out by Dept. of Atmospheric Physics, Saint-Petersburg State University [3]. Measurement site is situated in Peterhof (suburb of Saint-Petersburg, about 35 km to the west from the megacity center), 59.88° N, 29.83° E, 20 m asl. Grating IR solar spectrometer (SIRS) with spectral resolution of 0.5 cm⁻¹ is in operation from 1991.

Fourier spectrometer Bruker IFS125 (spectral resolution is up to 0.002 cm⁻¹) started measurements of IR solar radiation in January 2009 [4]. Total random errors of individual measurement of CH₄ TCA are of 4 % and 1 % for SIRS and Bruker IFS125 respectively. CH₄ TCAs retrieved from simultaneous observations of SIRS and Bruker IFS125 have been compared. Growth rates, seasonal cycles and interannual variability of CH₄ TCA were estimated for the measurement period. Mean annual cycle of CH₄ (with amplitude ~ 3–4 %) has maximum in December–January and minimum in June–August. The character of CH₄ TCA annual variations for individual years may differ significantly from mean annual cycle. Comparisons with literature and NDACC data are given to confirm the results. Results of the study can be useful for climatic tendency analysis in the Northern European region.

Investigations were supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation in the frame of Federal special-purpose program “Scientific and Educational Manpower of Innovative Russia” (contracts No P969 of 27.05.2010 and No 16.740.11.0048 of 31.08.2010) and by St.Petersburg State University (research projects 11.31.547.2010 and 11.37.28.2011).

We take this opportunity to thank NDACC network for providing CH₄ TCA data and Dr. James Hannigan from the University of Denver for providing the SFIT2 program and advice.

1. IPCC Fourth Assessment Report (AR4) “Climate Change 2007”, Working Group I Report “The Physical Science Basis”, <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>.
2. Scales and Global Changes: Spatial and Temporal Variability in Biospheric and Geospheric Processes, Ed. by T. Rosswall, R.G. Woodmansee, and P.G. Risser, (Scientific Committee on Problems of Environment, Wiley, 1988).
3. Makarova M. V., A.V. Poberovskii, K.N. Visheratin, and A.V. Polyakov. Time Variability of the Total Methane Content in the Atmosphere over the Vicinity of St. Petersburg. *Izv., Atm. Oceanic Physics*, 2009, **45**, 6, 723–730.
4. Poberovskii A.V., M.V. Makarova, A.V. Rakitin et al. Variability of the Total Column Amounts of Climate Influencing Gases Obtained from Ground-Based High Resolution Spectroscopic Measurements. *Doklady Earth Sciences*, 2010, **432**, Part 1, 656–658.

О новом методе восстановления интегрального содержания NO₂ в пограничном слое атмосферы и его использование на сети станций ИФА РАН

Иванов В.А. (victor.ivanov@list.ru), Елохов А.С., Постыляков О.В.

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

Разработан новый метод восстановления содержания NO₂ в пограничном слое атмосферы. Метод использует измерения рассеянного в зените солнечного излучения и информацию о высоте пограничного слоя атмосферы. Суммарная ошибка метода оценивается в 15–25 %, как для случая сплошной области, так и для ясного неба. Суммарная ошибка метода складывается из ошибок измерения наклонного содержания NO₂, восстановления стратосферного содержания NO₂ и расчёта послойной воздушной массы.

Начиная с 2008 года, разработанный метод используется на сети станций наблюдений ИФА РАН. Сеть состоит из четырех станций наблюдений. Они расположены в Звенигороде (50 км западнее Москвы), в двух точках Москвы и в Минске (Республика Беларусь). Также измерения проводятся в экспедициях вагона-лаборатории TROICA (TRAnscontinental Observations Into the Chemistry of the Atmosphere).

Кратко представлены закономерности пространственно-временной изменчивости содержания NO₂, полученные по данным сети наблюдений, включая период лесных пожаров и эксперименты TROICA.

A new method for retrieval of NO₂ integral column in atmosphere boundary layer and its application at Russian DOAS network

Ivanov V.A., Elokhov A.S., Postylyakov O.V.

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky per.3, Moscow, Russia

To obtain NO₂ vertical column in the atmosphere boundary layer (ABL) a new method was developed. It is based on measurements of spectrum of solar radiation scattered in the zenith and ABL height inferred from an atmospheric dynamic model. The method and background of the error analysis will be discussed. The total error is estimated as 15–25 % for cloudless and overcast conditions. It includes error components related to measurements of the slant column, to estimation of the stratospheric NO₂ content, and to the cloud optical depth, the cloud top and bottom height, the surface albedo et al. which are used for air mass calculations.

Since 2008 the method has been used at a DOAS observational network of Obukhov IAPh which includes instruments mounted at Zvenigorod (Moscow Region), at two points in Moscow, at Minsk (Republic of Belarus), and an instrument used at TRAnscontinental Observations Into the Chemistry of the Atmosphere (TROICA) train experiments.

The principal features of the NO₂ distribution obtained at the network, including Russian summer 2010 forest fires and TROICA experiment, will be shortly presented.

О новом методе восстановления вертикального распределения NO₂ в атмосфере в условиях антропогенного загрязнения по сумеречным наблюдениям

Постыляков О.В. (oleg.postylyakov@gmail.com), Елохов А.С., Иванов В.А., Груздев А.Н.

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

Спектральные измерения рассеянного в зените солнечного излучения в видимой области спектра в период сумерек используются для определения вертикального распределения NO₂ в стратосфере. В фоновых условиях содержание NO₂ в тропосфере мало, из-за чего оно незначительно сказывается на определении стратосферного содержания примеси. Однако, измерения, выполняемые в городских условиях, подвержены влиянию повышенных содержаний примеси.

Рассматривается новый алгоритм определения профиля NO₂ как в стратосфере, так и в тропосфере в загрязненных условиях. Рассматривается использование данных нескольких пунктов наблюдения в пределах одного мегаполиса, а также возможности улучшить анализ ошибок и валидацию данных в этом случае. Приводятся примеры использования предложенного метода для анализа данных в трех точках наблюдения в московском регионе и в Минске.

A new method for retrieval of NO₂ vertical distribution in atmosphere in polluted areas using twilight observations

Postylyakov O.V. (oleg.postylyakov@gmail.com), Elokhov A.S., Ivanov V.A., Gruzdev A.N.

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky per.3, Moscow, Russia

Spectral measurements of scattered in the zenith solar radiation during twilight are performed for retrieval of the vertical distribution of NO₂ in the stratosphere. The background tropospheric NO₂ content insignificantly influences on stratospheric NO₂ retrieval errors in view of its

smallness. However, the zenith observations performed in urban areas are often affected by enhanced NO₂ content.

A new algorithm of NO₂ retrieval in both stratosphere and troposphere for polluted areas is presented. The use of data from several observational points in one urban region, ensemble NO₂ retrieval, and opportunities to improve error analysis and data internal validation in such a case are discussed also. Examples of the application of the proposed method to observations at three points in Moscow region and one point in Minsk (Republic of Belarus) will be shown.

Сравнения наземных и спутниковых измерений вертикального содержания двуокиси азота в районе Санкт-Петербурга

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Кшевецкая М.А., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Представлены результаты регулярных наземных спектроскопических измерений общего содержания (ОС) NO₂, выполненных в районе Санкт-Петербурга (Петергоф, 29.82° в.д. / 59.88° с.ш.) различными методами:

- измерения рассеянного видимого солнечного излучения в зенит (428–515 нм) с помощью автоматизированного спектрального комплекса “КСВУ” (разрешение ~ 1.3 нм) в 2004–2010 гг.; и с помощью автоматического спектрометра высокого разрешения OceanOptics HR4000 (разрешение ~ 0.6 нм) в 2008–2011 гг.;
- измерения прямого солнечного излучения в ИК-области спектра с помощью спектрометра высокого разрешения Bruker-IFS125 (линия ~ 2915 см⁻¹, разрешение ~ 0.0025 см⁻¹) в 2009–2011 гг.

Результаты различных наземных измерений сопоставлены между собой, а также с данными спутниковых приборов, установленных на околополярных солнечно-синхронных орбитах – ERS-2 GOME, Envisat SCIAMACHY, Aura OMI, EPS-MetOp GOME-2. Используемые данные наземных и спутниковых измерений демонстрируют удовлетворительное согласие, качественно и количественно воспроизводя сезонный ход стратосферного содержания NO₂. Кроме того, в работе исследованы возможности детектирования повышенных тропосферных содержаний NO₂, наблюдаемых вблизи Санкт-Петербурга: выполнены расчеты усредняющих ядер рассматриваемых методов измерений, проведены сопоставления результатов измерений Bruker с данными спутниковых и наземных измерений тропосферного NO₂. Анализируются возможные причины наблюдаемых рассогласований.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (госконтракт № П969 от 27.05.2010) и НИР СПбГУ № 11.37.28.2011.

Comparison of ground-based and satellite measurements of NO₂ vertical columns at St. Petersburg

Ionov D.V. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Kshevetskaya M.A., Poberovsky A.V., Timofeyev Y.M.
St. Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St. Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

The results of regular ground-based spectroscopic measurements of NO₂ vertical columns nearby St. Petersburg (Petergof, 29.82° E / 59.88° N) by different methods are presented. These measurements are following:

- zenith-sky scattered visible solar radiation measurements (428–515 nm) by means of moderate-resolution automatic spectrometer “KSVU” (~ 1.3 nm spectral resolution) in 2004–2010; and commercial automatic high-resolution spectrometer OceanOptics HR4000 (~0.6 nm spectral resolution) in 2008–2011;

- direct IR solar radiation measurements by means of high-resolution FTIR spectrometer Bruker-IFS125 (NO_2 line $\sim 2915 \text{ cm}^{-1}$, spectral resolution $\sim 0.0025 \text{ cm}^{-1}$) in 2009–2011.

The results of different ground-based measurements compared to each other, as well as with the data of satellite instruments onboard of sun-synchronous orbits – ERS-2 GOME, Envisat SCIAMACHY, Aura OMI, EPS-MetOp GOME-2. Considered data of correlative ground-based and satellite measurements demonstrate reasonable agreement, reproducing both qualitatively and quantitatively the seasonal variation of stratospheric NO_2 columns. Besides, the study investigates capabilities to detect the increased tropospheric NO_2 columns observed in the vicinity of St.Petersburg city: the averaging kernels of used measurements are calculated, the FTIR (Bruker) measurement results are compared to the data of satellite and ground-based measurements of tropospheric NO_2 . The possible reasons for the observed discrepancy are discussed.

The work was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation in the frame of Federal special-purpose program “Scientific and Educational Manpower of Innovative Russia” (contract № P969, 27.05.2010) and by St.Petersburg State University (research project 11.37.28.2011).

Измерения общего содержания HF спектроскопическим методом: сопоставление результатов наземных и спутниковых измерений и сезонные вариации

Поляков А.В.¹ (polyakov@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.¹, Поберовский А.В.¹,
Яговкина И.С.¹, Walker K.A.² (kwalker@atmos.physics.utoronto.ca)

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

²Department of Physics, University of Toronto, 60 St. George Street, Toronto, Ontario M5S 1A7, Canada

На основе наземных измерений прямого солнечного излучения прибором Брюкер S-125 в течение года – с апреля 2009 по апрель 2010 г. в Петергофе (вблизи Санкт-Петербурга, Россия) получены значения общего содержания (ОС) HF. Для обращения радиационных данных использовался известный компьютерный код SFIT-2 (Zephyr-2). Случайные погрешности измерений составили 1–5 %, а систематическая погрешность 5–10 %. Сопоставление наземных измерений СПБГУ с данными спутниковых измерений ОС HF (прибор ACE-FTS) показало хорошее количественное согласие результатов для всего периода наблюдений. Средние значения и среднеквадратические вариации ОС HF по нашим наземным и спутниковым измерениям ACE-FTS в течение исследуемого периода составляют $1.77 \cdot 10^{15}$ и $1.80 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (разница 1.5 %) и 21 и 18 %, соответственно.

Сезонный ход ОС HF в Петергофе характеризуется наличием минимума ОС HF летом и максимума зимой–ранней весной и очень близок к полученному на станции NDACC Harestua, расположенной примерно на той же широте.

В работе использовались данные, предоставленные Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) в свободном доступе (см. <http://www.ndacc.org>).

Работа выполнена при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (госконтракт № П969 от 27.05.2010 и № 16.740.11.0048) и НИР СПБГУ № 11.31.547.2010 и 11.37.28.2011.

Spectroscopic measurements of the HF total column amount: the comparison of ground-based and satellite measurements and seasonal variations

Polyakov A.V., Timofeyev Yu.M., Poberovsky A.V., Yagovkina I.S., Walker K.A.
St.Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

HF total column amounts (TCA) above Petergof (near Saint-Petersburg, Russia) for the period of April 2009–April 2010 have been obtained using measurements of direct solar radiation by Bruker S-125 and the retrieval code SFIT-2 (Zephyr-2). Random and systematical measurement errors are 1–5 and 5–10 %, respectively. Comparison of HF TCA ground-based and satellite (device

ACE-FTS) measurements demonstrated a good quantitative agreement for all the period of observations. HF TCA means and r.m.s. variations are $1.77 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ and 21 % for ground based measurements, and $1.80 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ and 18 % for satellite measurements.

Seasonal behavior of the HF TCA at Peterdof is characterized by the minimum in summer and the maximum in winter–early spring and its value is close to that at the NDACC station Harestua situated in the same latitude.

In this work, data given by Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC) for a free access were used (<http://www.ndacc.org>).

The work was supported by Federal Purposive Program “Scientific and Educational Personnel of Innovative Russia” (contract № P969 from 27.05.2010 and № 16.740.11.0048) and SPbSU Scientific Investigations № 11.31.547.2010 and 11.37.28.2011.

Наземные ИК измерения общих содержаний оксидов азота в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга

Кшевецкая М.А. (kshevetskaya.marina@gmail.com), Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М.,
Макарова М.В., Ионов Д.В.

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

Приведены результаты наземных спектроскопических измерений общих содержаний (ОС) ряда оксидов азота: N_2O , NO_2 , NO . Измерения спектров прямого ИК солнечного излучения были осуществлены в период 1 апреля 2009–12 декабря 2010 г. с помощью спектрального комплекса на базе Фурье-спектрометра Брукер физического факультета СПбГУ в г. Петергофе. Интерпретация измерений осуществлялась посредством международной программы SFIT2.

Рассмотрены погрешности определения ОС и качество решения обратной задачи на основе анализа среднеквадратических невязок. Кроме того, проанализированы дневные и сезонные вариации ОС оксидов азота, а также их взаимокорреляции. Проведено сопоставление полученных ОС оксидов азота с наземными измерениями на ряде станций сети NDACC.

Работа выполнена при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (госконтракт № P969 от 27.05.2010 и № 16.740.11.0048) и НИР СПбГУ № 11.31.547.2010 и 11.37.28.2011.

Ground-based IR measurements of total column amounts of nitrogen oxides in the atmosphere near St. Petersburg

Kshevetskaya M.A. (kshevetskaya.marina@gmail.com), Pobеровsky A.V., Timofeyev Yu.M.,
Makarova M.V., Ionov D.V.

St. Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St. Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

The results of ground-based spectroscopic measurements of total column amounts (TCA) of several nitrogen oxides (N_2O , NO_2 , NO) are presented. Measurements of direct solar IR radiation spectra were carried out at the Faculty of Physics (St. Petersburg State University) near Peterhof during the period 1 April 2009–12 December 2010 using Fourier spectrometer Bruker. Measurements were interpreted with the help of widely used SFIT2 computer code.

The TCA retrieval errors are considered. The quality of the solution of inverse problem is demonstrated using rms discrepancy. Diurnal and seasonal variations of TCA of nitrogen oxides and their intercorrelations are analyzed. Comparison of retrieved TCA of nitrogen oxides with ground-based measurements at NDACC stations has been performed.

The work was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation in the frame of Federal special-purpose program “Scientific and Educational Manpower of Innovative Russia” (contracts No 969 of 27.05.2010 and No 16.740.11.0048 of 31.08.2010) and by St. Petersburg State University (research projects 11.31.547.2010 and 11.37.28.2011).

Проблемы распознавания природно-техногенных объектов по данным гиперспектрального аэрокосмического зондирования

Козодеров В.В. (vkozod@mes.msu.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2,
119991 Москва, Россия*

Создаваемая аппаратно-программная система обработки гиперспектральных аэрокосмических изображений (сотни спектральных каналов в видимой и ближней инфракрасной области с разрешением в единицы нанометра) обеспечивает реализацию следующих вычислительных процедур. Производится распаковка больших объемов исходных данных в соответствии с используемым форматом их записи, трансформация и географическая привязка пикселей, быстрый просмотр изображений в спектральных каналах, выделение ансамблей обучающих спектров, обучение используемого классификатора по спектральным признакам оконтуренных «объектов интереса», экстраполяция результатов обучения на все элементы обрабатываемого изображения. Данные гиперспектрального зондирования позволяют использовать тонкую структуру регистрируемых спектров для повышения информационного содержания обрабатываемых изображений в сравнении с данными многоспектрального зондирования (6–7 каналов). Однако большое число спектральных каналов усложняет проблему классификации природно-техногенных объектов, так как данные близких каналов гиперспектрального зондирования могут быть линейно зависимы. Следствие взаимной зависимости каналов – неустойчивость решаемых систем уравнений, относящихся к разным каналам и обучающим пикселям, которые в совокупности характеризуют выбранные классы объектов в процессе распознавания всего множества объектов на обрабатываемом изображении. В традиционных подходах используются поставляемые зарубежными фирмами стандартные пакеты программ обработки аэрокосмических изображений разного пространственного и спектрального разрешения, но это программное обеспечение не учитывает специфики конкретной измерительной аппаратуры, особенностей отображения обрабатываемых сцен, условий построения обучающих выборок с учетом межканальных корреляций данных.

Показаны особенности новых подходов, в которых обосновываются вычислительные процедуры решения прикладных задач в заданной предметной области по данным гиперспектрального зондирования. Среди таких задач – оценка состояния лесных и других экосистем в разные периоды их вегетации, рассмотрение влияния разных типов задымления атмосферы от лесных и торфяных пожаров, объединение получаемой новой продукции обработки гиперспектральных изображений с данными наземных лесотаксационных и других обследований выбранных территорий.

Демонстрируются примеры исходных и нормированных на интегральную яркость спектров в каждом канале по данным летных испытаний отечественной гиперспектральной аппаратуры (около 200 спектральных каналов от длин волн 400 нм до 1000 нм, пространственное разрешение около 2 м с высоты полета 1.5 км) для тестовой территории Тверской области. Специфика летно-полевой кампании 2010 года – наличие лесных и торфяных пожаров на тестовой территории. Проведено сравнение спектров для отдельных частей территории: для области закончившегося верхового пожара с разной степенью обгорания; для фронта интенсивного горения; для области изменения интенсивности шлейфа дыма; для территории, охваченной дымом средней и слабой интенсивности над поверхностью озер в районе торфяных болот; для района горящих лесов; для леса вблизи очагов горения; для леса, нетронутого пожарами и др. Приводятся примеры оконтуривания выбранных объектов, рассмотрения выборочных спектров и их изменчивости в пределах этих контуров и результаты распознавания объектов по обучающим спектрам.

Исследования выполняются при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (2010–2013 годы) и проектов РФФИ №09-01-00071, 09-05-00171, 11-07-00382.

Оптические характеристики пылевого аэрозоля над центральным Тянь-Шанем по данным многоволнового лидара

Чен Б.Б. (lidar@istc.kg), Сverdlik Л.Г., Имашев С.А.

Киргизско-Российский Славянский Университет, Лидарная станция Теплоключенка, ул. Киевская 44, ком. 1/012, 720000, Бишкек, республика Киргизия

Одним из успешно применяемых методов получения информации о свойствах атмосферного аэрозоля является наземное дистанционное лазерное зондирование на нескольких длинах волн. Возможность получения данных о пространственной структуре оптических и физических свойств аэрозолей позволяет не только идентифицировать аэрозольные слои, но также изучать процессы переноса и снизить неопределенности в оценках радиационного воздействия, чувствительного к вертикальному распределению аэрозоля.

Проанализирован и обсужден набор лидарных профилей, полученных на Лидарной станции Теплоключенка (ЛСТ) КРСУ (42.47° N, 78.53° E, 2050 м над уровнем моря) в Центральном Тянь-Шане в период между июлем 2008 и июнем 2009 г. Годовой цикл измерений показал значимый вклад пылевого аэрозоля в общую аэрозольную оптическую толщину (AOD). Так, оценка средней AOD составила от 0.20 при дальнем переносе до 0.37 при трансграничном на длине волны $\lambda = 532$ нм. Сезонный анализ показал, что для планетарного пограничного слоя (PBL), который ограничивается для региона высотами ниже 2 км зимой и 3.5 км летом со средними значениями 1.5 ± 0.5 и 3.0 ± 0.8 км, характерны величины AOD 0.08 и 0.16, соответственно. В течение летнего периода средняя величина интегрального коэффициента обратного аэрозольного рассеяния $(1.2 \pm 0.58) \cdot 10^{-3} \text{ sr}^{-1}$ превышает аналогичные данные для зимы $(0.38 \pm 0.28) \cdot 10^{-3} \text{ sr}^{-1}$. В слое PBL преобладают аэрозольные частицы органической компоненты (мелкодисперсная фракция с примесью сажи – элементного углерода и сульфатов) и преимущественно минеральной крупнодисперсной пыли. Выше слоя PBL – пылевые частицы с примесью мелких частиц в виде сульфатов. В целом основная доля аэрозольных частиц, формирующих оптические характеристики, сосредоточена в слое PBL, выше которого, как правило, спектральные коэффициенты рассеяния резко убывают с высотой.

Представлены модели оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в PBL при региональном переносе загрязнения на Центральную Азию, и модели оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в слоях переноса загрязнения из различных источников выше слоя PBL в свободной тропосфере. Достаточно высокие уровни деполяризационного отношения (0.09–0.12) и относительно небольшие значения лидарного отношения (15–37 ср) в слое пыли могут быть обусловлены вкладом в обратное рассеяние несферических частиц.

Получено хорошее согласие между профилями коэффициента обратного рассеяния на $\lambda = 532$ нм по данным дневных наблюдений спутника CALIPSO и по данным лидара ЛСТ, дополненные профилем деполяризационного отношения.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта МНТЦ #KR-1522.

Optical characteristics of dust aerosol over the central Tien-Shan from multiwavelength lidar data

Chen B.B. (lidar@istc.kg), Sverdlik L.G., Imashev S.A.

Kyrgyz-Russian Slavic University, Lidar Station Teplokluchenka, Kievskaya str. 44, 720000 Bishkek, Kyrgyzstan

One of successfully applied methods of information gaining on properties of atmospheric aerosol is ground-based remote multiwavelength laser sensing. Possibility of data acquisition of spatial structure of optical and physical properties of aerosols allows not only to identify aerosol layers, but also to study transport processes and to decrease uncertainty of estimations of radiative forcing sensitive to vertical distribution of aerosol.

The set of lidar profiles received at Lidar Station Teplokluchenka (LST) KRSU (42.47° N, 78.53° E, 2050 m above sea level) in Central Tien-Shan during the period between July 2008 and June 2009 is analyzed and discussed. The annual cycle of measurements showed significant contribution of dust aerosol in total aerosol optical depth (AOD). So, the estimation of average AOD at $\lambda = 532$ nm varied from 0.20 at long-range transport up to 0.37 at transboundary transport. Seasonal analysis has shown that for the planetary boundary layer (PBL) (which in the region is restricted by heights lower than 2 km in winter and 3.5 km in summer with average values of 1.5 ± 0.5 and 3.0 ± 0.8 km), the values of AOD are equal to 0.08 and 0.16, respectively. During the summer period the average value of the integral aerosol backscattering coefficient $(1.2 \pm 0.58) \cdot 10^{-3} \text{ sr}^{-1}$ exceeds the similar data for winter $(0.38 \pm 0.28) \cdot 10^{-3} \text{ sr}^{-1}$. Aerosol particles of the organic component (fine fraction with soot impurity – elemental carbon and sulphates) and mineral coarse fraction which is mainly dust prevail in PBL layer. Above PBL layer – dust particles with impurity of small particles in the form of sulphates. In whole the basic part of aerosol particles forming optical characteristics, is concentrated in PBL layer above which, as a rule, spectral backscattering coefficients sharply decrease with height.

Models of optical and microphysical characteristics of aerosol in PBL at regional transport of pollution to the Central Asia, and model of optical and microphysical characteristics of aerosol in layers of pollution transport from various sources above PBL layer in free troposphere are presented.

High enough levels of depolarization ratio (0.09–0.12) and rather small values of lidar ratio (15–37 sr) in a dust layer can be caused by contribution of non-spherical particles to backscattering.

The good agreement is received between profiles of backscattering coefficient at $\lambda = 532$ nm according to day-time observation of CALIPSO satellite and LST lidar data, complemented with profiles of depolarization ratio.

Work carried out under the financial support of ISTC project #KR-1522.

Фрактальные модели на основе скейлинга и динамического хаоса в дистанционном зондировании атмосферы и подстилающей поверхности

Потапов А.А. (potapov@cplire.ru)

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Моховая, 11, корп.7, 125009
Москва, Россия*

Автором 30 лет назад в ИРЭ РАН был поставлен вопрос об использовании теории фракталов и дробных операторов в задачах радиофизики и радиолокации и сформулированы принципиальные пути для решения этой проблемы. В докладе дано описание новых синергетических методов, разработанных автором, на основе теории фракталов, эффектов скейлинга и динамического хаоса для решения задач распространения, рассеяния радиоволн и дистанционного зондирования окружающей среды.

В первой части доклада приведены экспериментальные и теоретические данные, лежащие в основе современных фрактальных моделей рассеяния электромагнитных волн характерными земными покровами в диапазоне миллиметровых и сантиметровых радиоволн. Приведенный материал дает достаточно подробное представление о многообразии современных задач рассеяния волн, возникающих при использовании теории целочисленных и дробных мер.

Во второй части доклада приведены экспериментальные данные о фрактальных флуктуациях миллиметровых волн в тропосфере. Показано, что применение формализма диссипативных систем (фрактальность, скейлинг, дробные операторы, негауссовская статистика, режим хаоса, существование странных аттракторов, их топология и т.п.) позволяет ожидать, что классическая проблема распространения и рассеяния волн случайными средами останется областью плодотворных исследований и в будущем.

На основе пионерских работ автора с его учениками в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН сформировано новое фундаментальное направление "Фрактальная радиофизика и

фрактальная радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем" и создана московская школа фрактальных методов, хорошо известная в мире. Опубликовано 500 научных работ, в том числе 13 монографий.

Температурная стратификация пограничного слоя атмосферы в городской среде и загородной местности по данным радиояркихостных измерений

Юшков В.П. (yushkov@phys.msu.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2,
119991 Москва, Россия*

На Физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова с 2008 г. проводятся измерения профилей температуры в атмосферном пограничном слое (АПС) с помощью сканирующего СВЧ радиометра МТП-5. Измерения в городской среде сопровождаются измерениями в загородной зоне на Звенигородской научной станции ИФА РАН в 50 км от Москвы, что позволяет оценивать разность температур в городской и загородной местности и измерять интенсивность городского острова тепла и его суточный ход в разное время года. Разностные измерения в близких точках должны иметь значительно большую точность, чем абсолютные, так как часть отличий может быть связана с ошибками калибровки приборов, влиянием внешних помех или ошибками алгоритма восстановления температур. Поэтому анализ принципов измерения приборами дистанционного зондирования в этом случае требует особого внимания. Другими словами, существует целый круг задач, когда сложные приборы дистанционного зондирования нельзя считать просто «черными ящиками», используемыми на сети гидрометслужбы, с заданной паспортной точностью.

Представляемый доклад посвящен анализу недокументированных возможностей температурного профилемера МТП-5 и более точному определению температурной стратификации пограничного слоя, а также точному сопоставлению характеристик стратификации в близких точках, например в городской и загородной местности. Оценка точности такой характеристики АПС как стратификация (определяемая по вертикальному градиенту температуры) должна исследоваться отдельно, так как для этой характеристики нет четких оценок точности в паспортных данных прибора. Показано, что используемый метод измерений предполагает более точную оценку интегральных характеристик пограничного слоя, чем оценку восстановленных температур на основе решения обратной задачи. Поскольку трудно подобрать определение интегральной характеристики стратификации АПС, предлагается использовать такой термин, как индекс стратификации. Для однотипных приборов эта характеристика будет идентичной, а для отличающихся по способу получения и восстановления данных такая характеристика может быть приведена путем поверки и корреляционного сопоставления. Характеристикой, которая определяет точность расчета индекса стратификации, является «среднее» значение следующей (второй) производной температуры с высотой.

На основе проведенного анализа предложена схема совершенствования оценки стратификации АПС, в том числе в близких точках зондирования. Регулярные измерения индекса стратификации позволяют рассчитывать эмпирические функции распределения стратификации в разные сезоны, изучать их временной ход и сравнивать между собой разные точки местности по характеристикам этих распределений (средним и медианам, дисперсиям и процентиям). Вероятностный подход к оценке синоптической изменчивости термической стратификации АПС позволяет точнее оценивать как пространственную, так и межгодовую изменчивость стратификации АПС.

Автор благодарит Е.Н. Кадыгрова и Е.А. Миллера за помощь в работе с профилемером МТП-5, А.В. Троицкого за полезные обсуждения его принципов работы, Г.А. Курбатова за постоянную помощь в проведении измерений, Р.Д. Кузнецова за проведение измерений на ЗНС ИФА РАН и М.А. Каллистратову за постоянную поддержку. Выполнение исследований поддержано грантом РФФИ 08-05-00984.

Анализ вертикальных профилей температуры в городском атмосферном пограничном слое

Курбатов Г.А. (kurbatov_ga@physics.msu.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2,
119991 Москва, Россия*

В городских условиях термическая стратификация оказывает большое влияние на динамику процессов в атмосферном пограничном слое (АПС), на распространение и концентрации различных примесей и загрязнений. Современные средства дистанционного зондирования АПС предоставляют уникальные возможности в построении комплексных измерительных систем. Применение на практике таких комплексов позволяет вести непрерывные наблюдения и получать данные о динамике таких характеристик АПС как, например, вертикальные профили и градиенты температуры или вертикальные профили скорости ветра.

В докладе будут представлены результаты длительных непрерывных наблюдений профилей скорости ветра и температуры, измеряемых на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва) и Звенигородской научной станции ИФА РАН им. А.М. Обухова (г. Звенигород). Термическое зондирование АПС осуществляется до высоты 600 метров микроволновым температурным профилемером МТП-5 с разрешением по времени 5 минут, по высоте – 50 метров. Кроме того, на нескольких фиксированных уровнях (на Физическом факультете МГУ – 5 м и 15 м, на ЗНС ИФА – 6 м и 56 м) установлены ультразвуковые анемометры-термометры фирмы Metek USA-1, которые проводят измерения температуры и компонент вектора скорости ветра с частотой 10 Гц.

Рассчитаны средние профили температуры и скорости ветра, а также их градиенты. Проведен анализ их межгодовой и межсезонной изменчивости. Приведено сравнение характеристик АПС по измерениям в городской среде и пригороде. Рассмотрены изменения этих характеристик в экстремальных синоптических условиях, таких, как сильные морозы зимой 2010 года, аномальная жара летом 2010 года и в условиях задымления от лесных пожаров. Оказалось, что ночной инверсионный слой разрушается медленнее в условиях задымления. Наибольшие изменения градиента температуры в слое до 300 метров в условиях задымления наблюдаются в ночные часы за городом.

Мониторинг тропосферы аппаратно-программным комплексом сети станций приемников спутниковых навигационных систем и численной мезомасштабной модели

Хуторова О.Г. (olga.khutorova@ksu.ru), Тептин Г.М., Васильев А.А., Калинин В.В.,
Хуторов В.Е., Курбангалиев Т.Р.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Кремлевская 18, 420008 г. Казань, Россия

В настоящее время стоят задачи развития систем, обеспечивающих адекватную оценку и прогноз неоднородной структуры тропосферы в реальном времени. В связи с этим несомненный интерес предоставляют широкие возможности применения глобальных сетей позиционирования GPS и ГЛОНАСС.

В Казани организована сеть наземных пространственно-разнесенных высокоточных приемников систем GPS-ГЛОНАСС, которая позволяет осуществить пассивное зондирование тропосферы с помощью параметров радиосигналов, принятых с космических аппаратов. Пространственный разнос станций на расстояния до 35 км позволяет исследовать мезомасштабную структуру тропосферы. Сравнение результатов дистанционного зондирования с данными метеостанции, радиозондирования и реанализа показало хорошее согласие. Среднеквадратичное отклонение результатов пассивного зондирования индекса рефракции от радиозондовых данных составило 2 % на высотах до 500 м. Обнаружено, что

структура индекса рефракции имеет как межсуточные вариации, так и мезомасштабную пространственную и временную изменчивость.

Программно-аппаратный комплекс исследования тропосферы включает в себя также и численную модель атмосферы, реализованную на вычислительном кластере. Показано, что система наземных GPS-ГЛОНАСС приемников, разнесенных на расстояние нескольких километров, расположенных в г. Казани и ее окрестностях, дает возможность провести регулярное всепогодное зондирование пространственно временной картины полей атмосферной рефракции. По этим измерениям решаются задачи исследования синоптических процессов, вариаций интегрального влагосодержания, атмосферной стратификации, макротурбулентности. Численная модель атмосферы позволяет усваивать данные зондирования для прогноза динамики атмосферных параметров.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Госконтракт № П162).

Оценки яркостных контрастов облаков среднего и верхнего ярусов при наблюдении в диапазоне коротких миллиметровых волн

Кутуза Б.Г. (kutuza@mail.cplire.ru), Камышанов А.О.

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. ак. Б.А. Введенского д. 1,
141190 Московская обл., г. Фрязино, Россия*

Облака верхнего и среднего яруса играют важную роль в радиационном балансе Земли, они первыми встают на пути потока излучения, поступающего от Солнца, и, следовательно, вносят значительный вклад в результирующее излучение, доходящее до земной поверхности. С другой стороны, они являются экранирующим фактором для излучения, отражённого от поверхности земли, что создает своего рода парниковый эффект. В литературе практически отсутствуют данные об излучательной способности верхних облаков в гигагерцовой и терагерцовой областях спектра. Расчёты показывают, что на частотах ниже 30 ГГц эти облака практически прозрачны и вносят весьма слабый вклад в излучение атмосферы, который трудно обнаружить экспериментально. Целью данной работы явилось:

- моделирование излучения облачной атмосферы в диапазоне коротких миллиметровых волн;
- расчет яркостных контрастов облаков среднего и верхнего ярусов, наблюдаемых с летальных аппаратов, находящихся над нижней и верхней кромкой облаков. (Под яркостным контрастом будем понимать разность значений яркостных температур облачной и безоблачной атмосферы).

Путем компьютерного моделирования проведен анализ влияния облаков верхнего и среднего яруса на нисходящее и восходящее излучение атмосферы в коротковолновом диапазоне миллиметровых волн (100–300 ГГц). Получены оценки вклада этих типов облаков на величину яркостной температуры при измерениях нисходящего излучения атмосферы на высотах ниже границы облака и восходящего излучения атмосферы на высотах выше верхней границы облака для двух типов облаков: жидкокапельные и кристаллические. При самолетных измерениях с высоты 1 км увеличение яркостной температуры нисходящего излучения за счёт жидкокапельных облаков может достигать 30–45 К в окнах прозрачности атмосферы 130–170 ГГц и 210–300 ГГц, тот же контраст за счет кристаллических облаков составляет всего 0.1–3 К. При измерениях восходящего излучения атмосферы с летательного аппарата, расположенного выше верхней границы облака, вклад его в излучение сильно зависит от типа подстилающей поверхности. Так например, контраст жидкокапельных облаков над сухой почвой составляет 0.5–2.5 К, а для кристаллических облаков он меньше 0.5 К. В то же время при наблюдении над водной поверхностью вклад жидкокапельных облаков может достигать 30–35 К. Проведенные оценки показывают, что жидкокапельные облака среднего и верхнего ярусов вносят значительный вклад в излучение атмосферы в

диапазоне коротких миллиметровых волн, который может быть измерен при использовании современных микроволновых радиометров.

Зондирование ионосферы в областях пролета космического корабля "Прогресс" с работающим двигателем

Хахинов В.В.^{1,2} (khakhin@iszf.irk.ru), Потехин А.П.¹, Лебедев В.П.¹, Кушнарев Д.С.¹, Шпынев Б.Г.¹, Алсаткин С.С.¹, Ратовский К.Г.¹, Твердохлебова Е.М.³, (katya.tverdokhlebova@gmail.com), Куршаков М.Ю.³, Манжелей А.И.⁴ (mmc@sfoc.ru), Тимофеева Н.И.⁴

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

²ГОУ ВПО ИргУПС, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15

³ФГУП "ЦНИИмаш", г. Королев, Московская обл., Россия

⁴РКК "Энергия", г. Королев, Московская обл., Россия

Управляемое воздействие на ионосферу открыло принципиально новую возможность проведения почти лабораторных экспериментов, направленных на более глубокое изучение процессов в верхней атмосфере в условиях, не доступных для земных лабораторных экспериментов. Хорошо известны результаты исследований мощных воздействий на ионосферу при запусках ракет, естественные аналоги которых в ионосфере крайне редки, а отклик ионосферы хорошо измеряем.

Ежегодно с 2007 года по два транспортных грузовых корабля (ТГК) серии "Прогресс" после доставки грузов на МКС в ходе 5–6 суточного автономного полета превращаются в космические лаборатории по исследованию ионосферной плазмы. Во время пролета ТГК в зоне видимости наземных средств радионаблюдения ИСЗФ СО РАН на 5–10 секунд включается двигательная установка ТГК. За 10 минут до включения двигателя включается штатная бортовая радиоаппаратура УКВ диапазона, работающая в течение 20 минут на рабочей частоте 121750 кГц. В результате работы двигателя в ионосферу инжектируется небольшая масса выхлопных струй с известным составом, что является отличительной особенностью проводимого эксперимента. Именно такие возмущения, образующиеся в ионосфере, наиболее близки к природным, естественным. Поэтому изучение процессов образования, эволюции, динамических характеристик таких искусственно создаваемых возмущений в нужном месте и нужное время крайне важно. Не менее важны экспериментальные результаты для разработки теоретических и математических моделей процессов генерации и эволюции плазменных неоднородностей в ионосфере.

Целью активного космического эксперимента (КЭ) является определение пространственно-временных зависимостей плотности, температуры, ионного состава локальных неоднородностей ионосферы, возникающих в результате работы бортовых двигателей ТГК. Основным наземным средством радиозондирования ионосферы является Иркутский радар некогерентного рассеяния (РНР). В качестве вспомогательного средства используется цифровой ионозонд DPS-4, работающий в режиме вертикального зондирования ионосферы. Для определения размеров и расположения области плазменной неоднородности развернута интерференционная система с многоканальным цифровым УКВ приёмником.

Сеансы КЭ проводились при различных гелио-геофизических условиях. Направление скорости выхлопной струи выбиралось из вариантов: навстречу и против направления движения ТГК, навстречу радиолучу наблюдения РНР, на север в плоскости местного горизонта ТГК. Прошедшие серии КЭ прошли в период низкой солнечной активности в условиях слабой электронной концентрации в ионосфере. На таком фоне и возмущения имели малые амплитуды, которые затрудняли их уверенное обнаружение и идентификацию.

Результаты КЭ можно сформулировать следующим образом. Слабое воздействие выхлопных газов генерирует область ("дыру") сильных отрицательных ионосферных возмущений. Изменение радиолокационных характеристик ТГК и параметры образовавшейся ионосферной "дыры" зависят от гелио-геофизических условий, процессов,

происходящих в ионосфере, ориентации выхлопных струй относительно скорости ТГК, геомагнитного поля, радиолуча РНР. В сеансах при направлении струй на РНР наблюдались наиболее сильные ионосферные возмущения (электронная концентрация понижалась на 20–40 %) и изменения РЛ параметров. По нашим оценкам время жизни "дыр" составляло 10–20 мин. Во время работы двигателя возрастала разность фаз УКВ сигналов, принимаемых соседними антеннами.

Работа выполнена при поддержке министерства образования и науки РФ (госконтракт № 14.740.11.0078) и грантов РФФИ 10-05-01099 и 11-05-00698.

Дистанционное радиозондирование поверхности Земли сверхширокополосными сигналами бортовых радаров

Потапов А.А.¹ (potapov@cplire.ru), Лазоренко О.В.² (Oleg-Lazorenko@yandex.ru),
Черногор Л.Ф.³ (Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua)

¹*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Моховая, 11, корп.7, 125009
Москва, Россия*

²*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Ленина, 14, Харьков, Украина*

³*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, Харьков, Украина*

Одним из перспективных путей повышения информативности радиолокационных систем (РЛС) является применение новых видов сигналов. К ним относятся, в частности, сверхширокополосные (СШП) сигналы [1]. Основным преимуществом СШП сигналов перед узкополосными является то, что первые переносят значительно больший объем информации об объекте исследования. Применение СШП сигналов позволяет отличать диэлектрические поверхности от проводящих, а отражатели от рассеивателей. Этим объясняется актуальность данной работы. Целью работы является оценка ориентировочных параметров РЛС, использующей СШП сигналы для осуществления дистанционного зондирования (ДЗ) земной поверхности с борта самолета или искусственного спутника Земли (ИСЗ).

СШП сигналом является сигнал, показатель широкополосности которого лежит в диапазоне 0.2–2 [2]. Авторами предложен ряд различных видов СШП сигналов: ультракороткие (УКСШП), прямохаотические (ПХСШП), фрактальные (ФСШП), случайные (ССШП), нелинейные (НЛСШП) сигналы, а также сигналы с переменной средней частотой (ПСЧСШП). Нами выполнены расчеты для РЛС, использующей УКСШП сигналы. Применение этого вида СШП сигналов связано с тем, что именно для него разработано подавляющее большинство современных технических средств генерации, излучения и приема. Расчеты показали, что оптимальные параметры указанной РЛС следующие: средняя частота ФСП ОПФ – 37.5 ГГц (длина волны – 8 мм), длительность импульса – 0.1 нс, показатель широкополосности – 0.53, размер антенны – 1 м, ее коэффициент усиления – 10^5 , угловое разрешение – 0.01. Такие параметры обеспечивают разрешение по дальности около 1.5 см, а также разрешение в поперечном направлении около 50 м и 3 км для РЛС на борту самолета (высота полета – 5 км) и на борту ИСЗ (высота – 300 км) соответственно. Эффективная поверхность рассеяния цели при локации с борта самолета составляет 200 м^2 , а с борта ИСЗ – $7 \cdot 10^5 \text{ м}^2$. Для получения величины отношения сигнал/шум на входе приемника 10–100 необходима импульсная мощность радиопередающего устройства (РПУ) для РЛС на борту самолета около 4–40 Вт, а на борту ИСЗ – 15–150 кВт. При частоте повторения импульсов 100 Гц для спутникового радара средняя мощность РПУ – 0.15–1.5 мВт. Для самолетного радара при частоте повторения 1000 Гц она составляет 0.4–4 мкВт. В случае использования охлаждения входного усилителя импульсная мощность уменьшается примерно на порядок. Указанные выше параметры зондирующих СШП сигналов обеспечивают сверхразрешение по дальности, а, с другой стороны, дисперсионные искажения сигналов, которые обычно являются основным эффектом при их распространении [2], оказываются незначительными.

Таким образом, показано, что использование СШП сигналов для ДЗ поверхности Земли с помощью РЛС, расположенных на борту самолетов и ИСЗ, позволит достичь сверхразрешения по дальности и существенно увеличить количество информации, получаемой об объекте наблюдения, и рекомендованы оптимальные параметры таких РЛС. Продemonстрировано, что параметры РЛС практически достижимы, а РЛС по их массогабаритным параметрам допускают установку на борту самолета или ИСЗ.

1. *UWB. Theory and Applications* / Ed. Oppermann I., Namalainen M. and Iinatti J. Chichester: Wiley, 2004. – 223 p.
2. Лазоренко О.В., Черногор Л.Ф. *Сверхширокополосные сигналы и процессы*. Харьков: ХНУ, 2009, 576 с.

Особенности основного уравнения радиолокации при дистанционном радиозондировании Земли сверхширокополосными сигналами бортовых радаров низколетящих самолетов

Потапов А.А.¹ (potapov@cplire.ru), Лазоренко О.В.² (Oleg-Lazorenko@yandex.ru),
Черногор Л.Ф.³ (Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua)

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Моховая, 11, корп.7, 125009 Москва, Россия

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Ленина, 14, Харьков, Украина

³Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, Харьков, Украина

При использовании сверхширокополосных (СШП) сигналов в целях дистанционного зондирования (ДЗ) поверхности Земли с помощью радиолокационных станций (РЛС), установленных на борту самолета, важнейшей задачей является повышение отношения сигнал/шум на входе приемника. Одним из перспективных путей решения данной задачи может быть использование так называемого эффекта возникновения «электромагнитного снаряда» (ЭС) [1]. Целью работы является учет в основном уравнении радиолокации возможности возникновения ЭС и оценка выигрыша в отношении сигнал/шум на входе приемника СШП РЛС, установленной на борту низколетящего самолета.

Проблема создания ЭС возникла при исследовании излучения антенной коротких импульсов. Суть ее в том, что при определенных условиях энергия излученного импульса убывает при больших удалениях медленнее, чем квадрат обратного расстояния. Такая необычно высокая концентрация энергии и оправдывает введение термина ЭС. Как показано в [1], это не выходит за рамки классической электродинамики и не приводит к появлению каких-либо необычных явлений. Дело в том, что для импульсов с «крутыми фронтами» между ближней и дальней зонами антенны возникает промежуточная зона (ПЗ), границы которой определяются отношением длительности импульса к длительности его фронта. Именно в ПЗ и наблюдается ЭС. Важно отметить, что положение дальней границы ПЗ зависит только от длительности фронта импульса и не зависит от его длительности. Если же фронты у импульса пологие, то ПЗ, а значит, и ЭС не возникают [1]. Нами получено уравнение радиолокации для СШП сигналов с учетом возможности возникновения ЭС [2].

Показано, что наличие ЭС приводит к увеличению отношения сигнал/шум в 5–10 раз. При оптимальных параметрах самолетной РЛС (частота 37.5 ГГц, длительность импульса 0.1 нс, показатель широкополосности 0.53, диаметр антенны 1 м, коэффициент усиления 10^5) ЭС возникает на высотах около 20–200 м.

1. Сodin Л. Г. Импульсное излучение антенны (Электромагнитный снаряд). *Радиотехника и электроника*, 1991, 5, 1014–1022.
2. Лазоренко О.В., Черногор Л.Ф. *Сверхширокополосные сигналы и процессы*. Харьков: ХНУ, 2009, 576 с.

О методе учёта погрешностей движения облачности по полусферическим изображениям сканирующего радиометра в диапазоне 8–13 мкм

Фёдоров В.О., Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.ru), Иванов В.Н., Третьяков Н.Д.
НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

On a calculation method used for accounting for errors in cloudiness motion from semispherical images of a scanning radiometer within the range of 8–13 μm

Fedorov V.O., Allenov M.I., Ivanov V.N., Tretiakov N.D.
Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, Moscow Region

Рассматривается метод учёта погрешностей движения облачности по полусферическим изображениям сканирующего радиометра в диапазоне 8–13 мкм. Кадр облачного поля (6120 значений энергетической яркости) представляется в виде проекции на горизонтальную плоскость (40 x 40 ячеек). Поскольку сканирование небосвода происходит не мгновенно, изображение движущихся объектов (облаков) искажается. Оно может быть как сжатым, так и растянутым в зависимости от направления движения облака и его пространственного положения в зоне сканирования.

Для оценки и учета этих искажений, в среде **MathCad** создана программа, моделирующая работу сканирующего радиометра и движение облака. Модель сканирующего радиометра строилась в соответствии с разработанной в ГУ «НПО «Тайфун» автоматизированной системой параметризации и распознавания форм облачности АСПРФО [1, 2]. Показано, что при некоторых неблагоприятных условиях искажения формы (площади) модельного облака могут быть значительными, что может вызвать неоднозначность при автоматизированном определении количества облачности.

Предложен способ исключения искажений измерений и их учёта при математической обработке кадра и соответствующей поправке на скорость. Для этого при восстановлении кадра определяются горизонтальные и вертикальные составляющие скорости движения облачного поля за время одного измерения. По полученным значениям определяется необходимый сдвиг в ячейках по вертикали и горизонтали соответствующего элемента кадра. При этом искажения формы (площади) облака компенсируются.

При некоторых направлениях движения облачного поля восстановленная зона обзора (рабочая область) радиометра увеличивается, что расширяет функциональные возможности прибора, тем самым увеличивая информативность исследуемого облачного поля. В докладе представляются результаты учёта погрешностей (таблицы и графики) при оценке направления и скорости движения облачности в дневное и ночное время.

1. Алленов М.И., Иванов В.Н., Третьяков Н.Д. Патент России на изобретение «Устройство распознавания форм облачности» №2331853 – опубл. 20.08.2008, бюлл. № 23.
2. Алленов М.И., Артюхов А.В., Иванов В.Н., Третьяков Н.Д. Патент России на изобретение «Способ определения направления и скорости движения нижней границы облачности» №2414728 – опубл. 20.03.2011, бюлл. № 8.

Интерпретация данных лидарного зондирования слабо рассеивающей атмосферы

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

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

В работе рассмотрены особенности лидарного зондирования слабо рассеивающей атмосферы. Обычно интерпретация данных эластичного лидарного зондирования атмосферного аэрозоля основывается на обращении лидарного уравнения, записанного для

коротких зондирующих импульсов, в приближении однократного рассеяния и для незначительной фоновой засветки. Это уравнение связывает мощность сигнала обратного рассеяния с оптическими характеристиками атмосферного аэрозоля. В общем случае фактор фоновой засветки следует учитывать. В случае однородной атмосферы лидарное уравнение можно записать для трех рассеивающих объемов атмосферы. В результате получается система из трех уравнений относительно неизвестных величин: коэффициента ослабления, фоновой засветки и произведения коэффициента обратного рассеяния и постоянной лидара. Поскольку мощность измеряется с погрешностью, уравнения являются приближенными. Можно рассмотреть задачу нахождения наилучшего приближения. Для этого следует учесть, что таких уравнений можно составить больше, чем 3. Для решения системы в случае малых величин коэффициента ослабления ее можно линеаризовать.

В работе рассмотрены результаты зондирования, позволяющие реализовать эту возможность. Анализ результатов выполнен с учетом искажения сигнала на сравнительно небольших расстояниях зондирования. Для корректной интерпретации данных рассматриваются расстояния зондирования, где это влияние отсутствует. В работе найдена величина фоновой засветки и выполнено сравнение найденной величины с результатами ее определения по измерениям сигнала из атмосферы, осуществленным до посылки зондирующего импульса. Найден коэффициент ослабления и произведение коэффициента обратного рассеяния и постоянной лидара. По измеренному эхо-сигналу и найденным константам выполнена оценка шума. Найдена связь шума с мощностью эхо-сигнала, что важно для моделирования систем многопозиционного лидарного зондирования.

Interpretation of weak scattering atmosphere lidar probing data

Yegorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Y.B., Drabenko V.A., Oshurkova A.A.
Russian State Hydrometeorological University, Malookhtinsky pr. 98, 195196 St. Petersburg, Russia

It is considered the problem of lidar probing of weak scattering atmosphere. The interpretation of atmospheric aerosols lidar probing data is based usually on the inversion of the lidar equation written for short pulses and negligible power of the background light. This equation connects the backscattering signal with the optical characteristics of atmospheric aerosols. The power of the background light is to be taken into account in common case. The lidar equation can be written for three scattering volumes in the case of homogeneous atmosphere. So we have the system of three equations including three unknown values: the extinction coefficient, the power of the background light, the product of the lidar constant and the backscattering coefficient. These equations are approximate equations because of presence the errors in the signals. One can consider the approximation problem. It is possible to write more then three equations. This system was solved using the linearization of the problem in the case of small extinction coefficient value.

The corresponding data of lidar probing were considered in the paper. The analysis of the results was carried out taking into account the presence of the systematic signal error at small distance between the scattering volume and lidar. The distance is considered in the paper where this error is negligible for correct interpretation of lidar probing data. The power of the background light was found using probing data and the comparison of this value was carried out with the value of the power of the background light found before probing. The extinction coefficient and the product of the lidar constant and the backscattering coefficient were found also. The noise estimation was carried out using measured signals and found constants. It was found the relationship between the noise and the signal power. This is important for multiposition lidar probing system modeling.

Измерение содержания водяного пара в Земной атмосфере на основе наблюдений со звездным и солнечным фотометрами. Методика и результаты

Галкин В.Д.¹ (galkin_slava@mail.ru), Имmlер Ф.², Алексеева Г.А.¹, Бергер Ф.-Х.², Ляйтерер У.², Ниберт Т.², Никанорова И.Н.¹, Новиков В.В.¹, Пахомов В.П.¹, Сальников И.Б.¹

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Пулковское ш. 65, кор. 1, 196140 Санкт-Петербург, Россия

²Метеорологическая Обсерватория Линденберг им. Р.Ассмана, Линденберг, Германия

В 1995–2007 годах в Метеорологической Обсерватории Линденберг им. Р. Ассмана в Германии выполнялись регулярные наблюдения Солнца и звезд в дневное и ночное время с целью определения аэрозольных оптических глубин и содержания водяного пара. Дневные наблюдения выполнялись с помощью полностью автоматизированных солнечных фотометров ROBAS-20 и ROBAS-30, изготовленных фирмой Карл Шульц и партнеры, ночные – со звездным фотометром, также выполненным фирмой Шульца по разработке Пулковской обсерватории. Звездный фотометр содержал 10 интерференционных фильтров, один из которых центрирован на полосу поглощения водяного пара 0.93 мкм. Солнечные фотометры включали клиновой интерференционный фильтр, который обеспечивал фильтровые измерения в полосе шириной 20 нм в спектральной области 0.3–1.1 мкм в 67 длинах волн (включая полосу водяного пара 0.93 мкм). Фотометрические измерения в полосах водяного пара были использованы для определения содержания водяного пара в атмосфере.

В Пулковской обсерватории была разработана специальная методика и выполнены необходимые лабораторные измерения для количественного определения водяного пара. Методика определения количества водяного пара включала следующие основные этапы:

1. Использование Пулковского лабораторного комплекса на базе кюветы ВКМ-100 (вакуумная многоходовая длиной 100 м). Система зеркал для многократного прохождения света позволяла получить путь света в кювете длиной от 100 м до 4100 м с шагом 400 м.

2. Калибровка фотометра или спектрофотометра в полосе поглощения водяного пара с помощью ВКМ-100 – измерение величины поглощения в зависимости от количества водяного пара на луче зрения (числа прохождений в кювете). Для привязки к единице абсолютной влажности в процессе калибровки выполнялись измерения абсолютной влажности в кювете с помощью полимерных датчиков, а также спектроскопии высокого разрешения по линии H_2O $\lambda = 6943.8 \text{ \AA}$. В настоящее время с использованием современных средств измерения возможно достижение точности определения водяного пара с ошибкой, близкой к 1 %.

3. Аппроксимация наблюдаемой в кювете калибровочной зависимости аналитической формулой.

4. Определение внеатмосферных величин Солнца и звезд в полосе водяного пара на основе натурных фотометрических наблюдений и калибровочной зависимости поглощения в полосе водяного пара от его количества.

5. Определение количества водяного пара в земной атмосфере на основе данных, полученных в пунктах 3–4.

За 1995–2007 гг. было получено свыше 41000 значений интегрального водяного пара в атмосфере по наблюдениям Солнца и 8600 – по наблюдениям звезд. Достигнутая средняя величина одного стандартного отклонения составляла 5–10 %. Результаты представлены в работе [1].

1. Galkin V.D., Immler F., Alekseeva G.A. et al. Analysis of the application of the optical method to the measurements of the water vapor content in the atmosphere – Part 1: Basic concepts of the measurement technique. *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 843–856, 2011, www.atmos-meas-tech.net/4/843/2011/.

Measuring of the water vapor content in the Earth's atmosphere on the basis of observations with star and solar photometers. The method and results

Galkin V.D.¹, Immler F.², Alekseeva G.A.¹, Berger F.-H.², Leiterer U.², Naebert T.²,
Nikanorova I.N.¹, Novikov V.V.¹, Pakhomov V.P.¹, Sal'nikov I.B.¹

¹*Russian Academy of Sciences, The Central Astronomical Observatory at Pulkovo, Saint-Petersburg, Russia*

²*Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg - Richard-Aßmann-Observatorium, Lindenberg, Germany*

In 1995–2007 at Meteorological Observatory Lindenberg of R. Aßmann in Germany the regular observations of the Sun and stars during day and night time for the purpose of determination of aerosol optical depths and the water vapor content were carried out. Day observations were carried out with the help of completely automated sun photometers ROBAS-20 and ROBAS-30, made by firm Karl Schultz and partners, night - with the star photometer also executed by firm of Schultz on working out of the Pulkovo observatory. The star photometer contained 10 interference filters one of which corresponds to the absorption band of water vapor 0.93 μm . The sun photometers included the interference wedge filter which provided filter measuring in spectral range 0.3–1.1 μm in 67 wavelengths with 20 nm half-width (including water vapor band 0.93 μm). Photometric measuring in water vapor band had been used for determination of the atmospheric water vapor content.

In the Pulkovo observatory the special procedure has been developed and necessary laboratory measuring for the quantitative determination of water vapor content are executed. The procedure of water vapor content determination included following basic stages:

1. Use of the Pulkovo laboratory complex on the base of multipass vacuum cell VKM-100. The system of mirrors for multi passage of light allowed obtain the light trajectory in the cell in length from 100 m to 4100 m with a step of 400 m.

2. Photometer or spectrophotometer calibration in a water vapor absorption band with using VKM-100 – measuring of absorption depending on water vapor content on a line of sight (numbers of passages in a cell). Measuring of absolute humidity in a cell by means of polymeric data units, and also high resolution spectroscopy of line H_2O $\lambda = 6943.8 \text{ \AA}$ were carried out for a binding to unity of absolute in the course of calibration. Now with use of the up-to-date measuring technique it is probably achievement of accuracy of determination of water vapor content with an error, close to 1 %.

3. Approximation of the observed calibration dependence by the analytical formula.

4. Determination of extraterrestrial magnitudes of the Sun and stars in water vapor band on the basis of natural photometer observations using the calibration dependence of water vapor absorption from its content.

5. Determination of atmospheric water vapor content on the basis of the data obtained in points 3–4.

For 1995–2007 it has been obtained over 41000 values of integrated water vapor content in atmosphere on observations of the Sun and 8600 – on observations of stars. The reached medial accuracy of one measurement (SD) was 5–10 %. Results are presented in article [1].

1. Galkin V.D., Immler F., Alekseeva G.A. et al. Analysis of the application of the optical method to the measurements of the water vapor content in the atmosphere – Part 1: Basic concepts of the measurement technique. *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 843–856, 2011, www.atmos-meas-tech.net/4/843/2011/.

Зондирование парниковых газов на Уральской атмосферной Фурье-станции с использованием методологии оптимальных спектральных микроокон

Рокотян Н.В.¹ (nikita@rokotyan.com), Грибанов К.Г.¹, Захаров В.И.¹, Береснев С.А.¹,
Поддубный В.А.²

¹Уральский государственный университет, пр. Ленина 51, 620083 г. Екатеринбург, Россия

²Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

В июле 2009 г. на территории Коуровской астрономической обсерватории Уральского государственного университета введена в строй Уральская Атмосферная Фурье Станция (УАФС). Станция расположена в фоновом лесном районе (57.038° .ш., 59.545° в.д.) в 80 км от Екатеринбурга и оборудована современным Фурье-спектрометром высокого разрешения Bruker IFS125M, сопряженным с солнечным трекером A547N. Станция предназначена для мониторинга следовых газов в атмосфере, накопления временных рядов данных и для валидации данных спутникового зондирования (таких как TANSO/GOSAT, AIRS/AQUA и других). УАФС включена в международную сеть Total Carbon Column Observing Network (TCCON). Основные характеристики Фурье-спектрометра таковы: полный спектральный диапазон – 420–25000 см⁻¹ (0.4–24 мкм); разрешение сканера – не менее 0.0035 см⁻¹; интерфейс к управляющему компьютеру Ethernet с протоколом TCP/IP; точность позиционирования солнечного трекера – 2 угловых минуты. В качестве вспомогательного оборудования для измерения атмосферного давления, температуры, влажности и компонент скоростей ветра в процессе регистрации спектров используется современный автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплект METEO-2, разработанный в Институте оптики атмосферы СО РАН.

При решении обратных задач по определению концентрации искоемых газов в атмосфере используются спектры, зарегистрированные в ясные безоблачные дни и соответствующие относительно безветренным (скорость ветра менее 2 м/с) состояниям атмосферы со слабым аэрозольным замутнением. Для селекции спектров атмосферы со слабым аэрозольным замутнением используются независимые измерения аэрозольной оптической толщи, сделанные с помощью солнечного фотометра CIMEL CE 318, размещенного рядом с солнечным трекером и являющегося локальным сегментом международной сети Aerosol Robotics Network (AERONET).

В данной работе для восстановления атмосферных параметров из результатов наблюдений ИК спектров атмосферы предлагается использовать особые спектральные микроокна, содержащие линии, слабо-чувствительные к вариациям температуры в заданном температурном интервале. Колебательно-вращательный спектр поглощения (пропускания) достаточно чувствителен к температурным вариациям, поэтому ошибка в температурном профиле в несколько градусов для слабовариабельных газов может давать сравнимый или даже больший вклад в функцию пропускания, чем вклад от характерных вариаций средней концентрации искомого газа в атмосфере. Использование линий, слабозависящих от вариаций температуры, позволит избежать температурной неопределенности, имеющей место при решении обратной задачи и связанной с неточным знанием вертикального профиля температуры в тропосфере. Такой оригинальный подход предоставляет потенциальную возможность заведомо получать более точные результаты и избежать существенных ошибок в результатах решения обратной задачи по определению концентрации парниковых газов из измеренных ИК спектров пропускания атмосферы высокого разрешения.

В настоящей работе из базы данных HITRAN 2004 из спектрального диапазона 4000–12000 см⁻¹ отобраны изолированные линии H₂O, CH₄, CO₂ и CO, интенсивность которых слабо зависит от вариаций температуры в интервале 220–310 К. На УАФС была проведена серия измерений ИК спектров пропускания безоблачной атмосферы с разрешением от 0.05 до 0.02 см⁻¹ в спектральном диапазоне 4000–12000 см⁻¹. Выбранные линии апробированы на

примере определения средней концентрации этих газов в атмосферном столбе из зарегистрированных спектров. Проведен сравнительный анализ полученного среднего содержания H_2O , CH_4 , CO_2 и CO в атмосфере по найденному набору микроокон и по стандартному набору микроокон, рекомендованному в международной сети TCCON.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 09-01-00649 и № 09-01-00474) и Минобрнауки РФ (госконтракты № П1151 и № П1571).

Результаты измерений концентрации двуокиси углерода в приземном слое атмосферы (станция мониторинга «Обнинск»)

Кашин Ф.В. (kashin@typhoon.obninsk.ru), Арефьев В.Н.

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

В г. Обнинске, расположенном в 105 км на юго-запад от Москвы (55.10° с.ш., 36.90° в.д., 186 м над уровнем моря), где практически отсутствуют промышленные источники углеродосодержащих газов, с 1998 г. ведутся регулярные измерения концентрации (отношения смеси) двуокиси углерода (CO_2) в пробах приземного воздуха при помощи комплекса аппаратуры, состоящего из Фурье-спектрометра и оптической многоходовой кюветы. Случайная погрешность единичного измерения концентрации CO_2 составляет $\pm 1 \text{ млн}^{-1}$. С февраля 1998 г. по февраль 2011 г. отобрано и проанализировано более 13000 проб приземного воздуха.

Временные изменения концентрации CO_2 по измерениям в Обнинске характеризуются сезонными вариациями и кратковременными ее повышениями. Высокие концентрации CO_2 , более 400 млн^{-1} , наблюдались при наличии приземной температурной инверсии и слабом ветре, а также в период лесных и торфяных пожаров в конце 1998 г., во второй половине 2002 г. и в начале 2003 г., в июле–августе 2010 г.

Все основные естественные и антропогенные источники и стоки CO_2 находятся у земной поверхности. На фоновое содержание CO_2 , формируемое естественными источниками, накладывается антропогенная добавка, состоящая из растущих выбросов CO_2 индустриального происхождения и выбросов при сжигании топлива в жилых домах в сельской местности. Можно полагать, что минимальные значения концентрации CO_2 в течение месяца в наибольшей степени определяются естественными причинами и могут считаться фоновыми для пункта наблюдений.

Анализ минимальных концентраций показал, что максимумы и минимумы сезонных вариаций CO_2 чаще всего приходятся соответственно на февраль и июль. Средняя амплитуда сезонных вариаций концентрации CO_2 в годовом цикле составляет $(18.7 \pm 9.1) \text{ млн}^{-1}$. За 13 лет средняя годовая концентрация CO_2 выросла примерно на 5.2 %. Изменения минимальных концентраций CO_2 в приземном слое атмосферы в основном обусловлены известными периодическими геофизическими явлениями (сезонными изменениями биоты, квазидвухлетними изменениями в стратосфере, явлением Эль-Ниньо и т.п.), а изменения антропогенной добавки носят в основном случайный характер.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-05-00356 и проект № 11-05-00328)

First results of inversion for the TELIS instrument

Xu Jian (jian.xu@dlr.de), Schreier Franz, Doicu Adrian, Trautmann Thomas, Vogt Peter
Remote Sensing Technology Institute, German Aerospace Center (DLR), Muenchner Str. 20, 82234 Wessling, Germany

Infrared(IR)/Microwave limb sounding is a well established technique that can be used to measure vertical distribution of atmospheric profiles and has some advantages that make its

observations preferable. A new stratospheric balloon-borne heterodyne limb sounder, so-called TELIS (TErahertz and submillimeter LImb Sounder), which aims to produce diurnal profiles of various key atmospheric constituents in the combination of high sensitivity and extensive flight duration, has been designed by the Remote Sensing Technology Institute at the German Aerospace Center (DLR-IMF) in cooperation with SRON in the Netherlands and RAL in UK. It utilizes state-of-the-art superconducting heterodyne technology and allows enhanced limb sounding of the atmosphere within the far infrared (FIR) and microwave spectral range. Since 2009, TELIS has completed three successful scientific flights on a stratospheric balloon gondola in Kiruna. Together with the MIPAS-B instrument TELIS is acting as a prelude to future spaceborne missions for exploring the atmosphere environment. Therefore, the development of new generation instruments for remote sensing of the atmosphere leads to an increased demand in high resolution radiative transfer modelling and reliable inversion performance.

In order to determine atmospheric state parameters, the nonlinear inverse problems have to be solved. Consequently, we need an appropriate radiative transfer model in an intimate connection with retrieval methodology for interpreting and analyzing the limb sounding measurements. A new code called PILS (Profile Inversion for Limb Sounding), whose forward model is a variant of the Line-by-Line code GARLIC, has been developed by DLR-IMF for figuring down the mathematical view of atmospheric remote sensing and seeking advanced inversion strategy. This program emphasizes efficient algorithms and techniques for the simulation of radiance and transmission, the Jacobian matrix calculation, and constrained nonlinear least squares optimization. Moreover, the reconstruction of atmospheric profiles from measurements requires numerical regularization methods due to ill-posedness of equations describing the measurement process.

Currently, the PILS code is implemented for level 2 data processing of FIR limb sounding measurements dedicated to the TELIS project. In this contribution, we present first results of retrieval of trace gas species from the latest TELIS measurements. Based on Jacobians provided by means of automatic differentiation, sensitivity studies have been carried out in order to investigate the effect of important absorbers in the FIR/microwave spectral range.

Single station GPS slant path delay (SPD) determination using modified Precise Point Positioning (PPP) method

Asgari Jamal (jamal.asgari@gmail.com), Saati Amir Reza (amirreza.saati79@googlemail.com),
Aeini Nazanin (nazanin.aeini@gmail.com)

Department of Surveying Engineering, Faculty of Engineering, Isfahan University, Isfahan, Iran

Determination of atmospheric water vapour is one of the key parameters for accurate modelling of climate and cloud formation. As changes in amount of atmospheric water vapour are very fast, temporal variations of water vapour have to be monitored continuously. In recent years, the Global Positioning System (GPS) tomographic techniques have been introduced as an advantageous method to obtain water vapour distribution in the atmosphere with high temporal and spatial resolution under all weather conditions.

In this paper based on Precise Point Positioning method (PPP) and thanks to the GPS slant path delays in troposphere, a novel technique for detection and modelling of tropospheric water vapour is introduced. To avoid the singularity problems, in this approach every two consecutive epochs of GPS observations data are considered and by employing recursive and filtering Least Squares method tropospheric slant path delays components are computed. In the end, corresponding tomographical modelling of troposphere based on computed parameters is provided.

Пространственно-временная изменчивость содержания NO₂ в пограничном слое атмосферы по наблюдениям на сети станций ИФА РАН

Иванов В.А.¹ (victor.ivanov@list.ru), Беликов И.Б.¹, Боровский А.Н.¹, Еланский Н.Ф.¹, Елохов А.С.¹, Джола А.В.¹, Шумский Р.А.¹, Постыляков О.В.¹, Бручковский И.И.², Irie H.³, Kanaya Y.³, Takashima H.³

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

²Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Минск, Республика Беларусь

³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokohama, Japan

С 2008 года на территории союзного государства России и Беларуси работает сеть наблюдения двуокиси азота ИФА РАН. Сеть состоит из четырех станций наблюдения, расположенных в Звенигороде (50 км западнее Москвы), в Минске (Республика Беларусь), в двух точках Москвы. Также выполняются измерения в ходе экспедиций вагона-лаборатории TROICA (TRAnscontinental Observations Into the Chemistry of the Atmosphere). На сети регистрируются спектры рассеянного в зените солнечного излучения с входной апертурой 9° с использованием спектрометров изображения Oriel MS-260i, Oriel MS-257 и Shamrock 303i. Наблюдения проводятся в дневное и сумеречное время в спектральном диапазоне 430–495 нм с разрешением 0.7 нм.

Для сети разработан новый метод, который позволяет восстановить содержание NO₂ в пограничном слое атмосферы. Ошибка восстановления содержания NO₂ по данному методу не превышает 20–25 %. Для наблюдений на Звенигородской научной станции ИФА восстановленные содержания NO₂ согласуются с выполняемыми там же измерениями методом MAX-DOAS организации JAMSTEC с коэффициентом корреляции 0.75.

Содержание NO₂ испытывает значительные пространственно-временные вариации от значений, близких к фоновым 5·10¹⁴ мол/см² до высоких тропосферных значений 3·10¹⁷ мол/см². В ходе экспериментов TROICA выявлены эпизоды выноса NO₂ с территории Китая и промышленных районов России. Для периода лесных пожаров лета 2010 года выявлена уникальная ситуация низкого содержания двуокиси азота в атмосфере.

Analysis of tropospheric NO₂ spatial and temporal variability using observations at Russian DOAS network

Ivanov V.A.¹ (victor.ivanov@list.ru), Belikov I.B.¹, Borovsky A.N.¹, Elansky N.F.¹, Elokhov A.S.¹, Dzhola A.V.¹, Shumsky R.A.¹, Postylyakov O.V.¹, Bruchkovsky I.I.², Irie H.³, Kanaya Y.³, Takashima H.³

¹A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences (IAP), Moscow, Russia

²National Ozone Monitoring Research and Educational Center, Minsk, Republic of Belarus

³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Yokohama, Japan

A DOAS observational network of Obukhov IAPh includes instruments mounted at urban areas of Moscow (2 observational point), Minsk (Republic of Belarus), and Zvenigorod (occasionally polluted area, 50 km to the west from Moscow). These locations together with an instrument used at TRAnscontinental Observations Into the Chemistry of the Atmosphere (TROICA) train experiments are interesting for investigation of the tropospheric NO₂. The instruments are based on image spectrometers (Oriel MS-260i, Oriel MS-257 and Shamrock 303i) with an optical port with a field of view 9° for scattered in the zenith solar light. Instruments perform daytime and twilight observations at 430–495 nm with a FWHM of 0.7 nm.

An algorithm for the retrieval of the NO₂ integral content in the atmosphere boundary layer in daytime was developed. Retrieved NO₂ contents are reasonably correlated with data of JAMSTEC MAX-DOAS spectrometer collocated with Zvenigorod network instrument.

NO₂ contents observed in Moscow had significant time variation from background value of $5 \cdot 10^{14}$ molecules/cm² to high value of $3 \cdot 10^{17}$ molecules/cm². Episodes of NO₂ transport from Russian and Chinese urban areas were detected during TROICA expedition in Siberia. Other regularities of the NO₂ spatial and temporal variability obtained at the network during 2008–2011, including Russian summer 2010 forest fires and TROICA experiment, will be discussed.

Мобильные наземные измерения тропосферного содержания двуокиси азота в районе Санкт-Петербурга

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В.

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

Представлены результаты мобильных спектроскопических измерений тропосферного содержания NO₂, выполненных борта легкового автомобиля на различных маршрутах в районе Санкт-Петербурга летом 2009–2011 гг. 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 регистрацию рассеянного в зенит 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 1 минута; единичные спектры, зарегистрированные за это время, суммировались. Продолжительность маршрутов движения составляла ~ 1.5 часа, основной район мобильных измерений – юго-западные окраины Санкт-Петербурга.

Совместный анализ карт пространственных распределений тропосферного содержания NO₂ по маршрутам движения с метео-данными (скорость и направление ветра) и результатами расчетов рассеяния городских загрязнений (модель HYSPLIT) подтверждает достоверность вариаций NO₂, наблюдаемых в данных представленных мобильных измерений.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (госконтракт № П969 от 27.05.2010) и НИР СПбГУ № 11.37.28.2011.

Mobile ground-based measurements of tropospheric nitrogen dioxide in the region of St. Petersburg

Ionov D.V. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Poberovsky A.V.

Faculty of Physics, St. Petersburg State University, Ulyanovskaya 1, 198504 St.Petersburg-Petrodvorets, Russia

The results of mobile spectroscopic measurements of tropospheric NO₂ columns onboard motor car, on a different routes of St.Petersburg region in summer 2009–2011 are presented. The observations were carried out with the use of compact automatic high-resolution spectrometer in the wavelength range 398–607 nm, ~ 0.6 nm spectral resolution. 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, being ~ 60 ms on the average (daytime observations close to local noon – at high sun). The measurements are recorded each

minute, with individual spectra averaged within that period. The route duration is ~ 1.5 hour, basically located in the south-west outskirts of St. Petersburg.

Combined analysis of the maps of tropospheric NO₂ spatial distributions over the routes of mobile measurements, with meteorology data (wind direction and speed) and simulation results of urban pollution dispersion (HYSPLIT model), confirms the reliability of NO₂ content variations observed in the data of presented mobile measurements.

The work was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation in the frame of Federal special-purpose program “Scientific and Educational Manpower of Innovative Russia” (contract № P969, 27.05.2010) and by St.Petersburg State University (research project 11.37.28.2011).

Multiparameter method for solving the inverse problem of ozone profile retrieval in the stratosphere and mesosphere from ground-based microwave measurements in the frequency region 110 GHz

Kostsov V.S. (vlad@troll.phys.spbu.ru), Poberovsky A.V., Osipov S.I.

Faculty of Physics, St. Petersburg State University, Ulyanovskaya 1, 198504 St.Petersburg-Petrodvorets, Russia

An algorithm for interpretation of ground-based measurements of brightness temperature of microwave radiation in the ozone absorption line 110 GHz is described. Inverse problem is formulated as a multiparameter one with respect to ozone vertical profile (target parameter), and also vertical profiles of temperature, pressure, water vapor, cloud liquid water (controlled interfering parameters). Results of radiosonde and satellite measurements of atmospheric state parameters are used as additional data. Error estimates for retrieval of ozone average concentration in the layers 22–30 km, 30–40 km, 40–50 km, and 50–60 km are presented for summer and winter conditions (for different atmospheric total water content) and for different combinations of additional data.

The work was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation in the frame of Federal special-purpose program “Scientific and Educational Manpower of Innovative Russia” (grant 16.740.11.0048 from 31.08.2010) and by St.Petersburg State University (research projects 11.31.547.2010 and 11.37.28.2011).

Методология дистанционного зондирования радиоактивных аномалий Земли аэрокосмическими средствами

Сухоруков А.И. (savelevo16@rambler.ru), Хисматов И.Ф.

Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина, 125167 Москва, Россия

В современном мире опасность возникновения радиоактивного загрязнения окружающей среды с каждым годом становится все более актуальной. Подтверждение тому – последние события в Японии на атомной электростанции «Фукусима-1». Причинами разрушения ядерных объектов и последующего радиоактивного загрязнения окружающей среды могут стать и становятся природные катаклизмы, устаревание и износ ядерных технических систем, субъективные факторы, а также потенциальные угрозы терроризма, связанные с мировыми политическими кризисами. Любой военный конфликт в современном мире может иметь масштабное радиоактивное загрязнение Земли, как в результате ядерных взрывов, так и при разрушении ядерных объектов. В условиях грядущего мирового энергетического кризиса особую роль приобретают аэрогаммаспектрометрические методы поиска полезных ископаемых. Предсказание крупных землетрясений по выявлению радиоактивных аномалий, вызванных выходом из разломов в атмосферу радона, также является одной из важных практических научных задач.

Все эти факты указывают на актуальность развития современных методов дистанционного зондирования радиоактивных аномалий Земли. Наиболее оперативно

получать информацию о радиационной обстановке на больших участках земной поверхности и в атмосфере несомненно позволяют аэрокосмические средства. В настоящее время широкое применение нашли только методы дистанционного зондирования радиоактивных аномалий Земли с воздушных судов по первичным признакам, которые основаны на непосредственном взаимодействии ионизирующего излучения с детекторами, однако дальность (высота) зондирования в этих случаях не превышает 500 м [1]. Методы зондирования по вторичным признакам, основанные на регистрации радиационных эффектов, возникающих в окружающей среде под воздействием ионизирующего излучения, имеют значительно большую дальность (возможность использования на космических аппаратах), однако из-за сложности их реализации они рассматриваются, в основном, как перспективные.

Несмотря на существующую актуальность проблемы, теоретические аспекты дистанционного зондирования радиоактивных аномалий Земли можно встретить только в разрозненных публикациях, а его методы до сих пор не имеют достаточно точной и системной классификации. Поэтому в настоящее время возникла необходимость рассмотрения системного подхода к изучению методов дистанционного зондирования радиоактивных аномалий Земли, который бы позволил оптимальным образом использовать все существующие радиационные эффекты в задачах их дистанционного обнаружения аэрокосмическими средствами. В данном докладе представлен современный понятийно-категориальный аппарат и классификация перспективных методов, опубликованных в монографии [2].

1. Березин Г.И., Корягин Н.Д., Сухоруков А.И. и др. *Системы воздушной радиационной разведки*. Учеб. пособие. Под ред. Корягина Н.Д. Воен.-возд. инжен. акад. им. Н.Е. Жуковского. – М.: ВВИА, 2004, 286 с.
2. Сухоруков А.И., И.Ф. Хисматов, И.Э. Новиков. *Основы теории аэрокосмического радиационного мониторинга Земли*. Ч. 1. Физические основы радиационного дистанционного зондирования Земли. М.: Изд. ВУНЦ ВВС, 2011, 312 с.

Methodology of the remote sensing radioactive anomalies of the Earth by aero-cosmic means of monitoring

Suhorukov Alexander (savelevo16@rambler.ru), Khismatov Igor
Military Educational Scientific Center of Air Forces, 125167 Moscow, Russia

Nowadays the problem of environmental radioactive contamination in the world is becoming more and more topical. The statement has been confirmed by the accident in “Fucussima-1” nuclear power station in Japan. Distraction of nuclear objects and subsequent environmental radioactive contamination can naturally be and are indeed caused nowadays by natural disasters, wear and depreciation of the active nuclear technical systems and, finally, terroristic acts often connected with local political crises in the world. Any military conflict can cause large radioactive contamination as a result of both a nuclear explosion and any distraction of active nuclear objects.

At present development of aero-gamma-spectrometric methods of minerals prospecting during the world energy crisis are becoming very important. Forecast of great earthquakes is also a practical scientific task of great importance in order to find radioactive Radon-anomalies near the earth breaks. The above makes radioactive anomalies remote sensing methods necessary to develop. At present the best quickly summary of the radioactive situation on the large Earth area and atmosphere areas is fast provided, undoubtedly, by aero-cosmic means of monitoring. Nowadays remote sensing methods of radioactive anomalies from the aircrafts are mostly in use. They are the remote sensing methods for primary signs of anomalies ionizing radiation; they are based on the direct cooperation of gamma rays and the detector in the plane. However a height of aerial remote sensing can't be more than 500 m [1]. There are also remote sensing methods using the secondary signs which are the deferent effects after the gamma rays in the environment. This sort of remote sensing is possible to use at the very long distance (height) from the spacecraft but is very complicated to realize and is a long term task at the moment.

In spite of the actuality of the problem all the methods of the remote sensing of radioactive anomalies on the Earth have nowhere been presented as a system and at present can be seen in some different published works only. There is no any classification of the methods either. So some systematization of the radioactive anomalies remote sensing methods is necessary to invent. Within the framework of this future system if the methods all the investigated radiation effects must be used included in the scientific tasks of discovering the anomalies. In the monograph [2] you can find concepts and categories to describe the methods and a classification of the long-term aerial remote sensing methods.

1. Berezin G., Koryagin N., Suhorukov A. et al. *Aerial radioactive reconnaissance systems*. Educational book. M.: Military Engineering Academy of Air Forces Press, 2004, 286 pp.
2. Suhorukov A., Khismatov I, Novikov I. *Theoretical base of aero-cosmic monitoring of Earth*. Part 1. Physical base of radioactive remote sensing of Earth. M.: Military Educational Scientific Center of Air Forces Press, 2011, 312 pp.

Информативные признаки поля ионизирующего излучения в атмосфере над радиоактивно загрязненной местностью при его обнаружении аэрокосмическими средствами дистанционного зондирования

Хисматов И.Ф. (abu_serгей@rambler.ru), Сухоруков А.И.,

Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е.Жуковского и Ю.А. Гагарина, 125167 Москва, Россия

Informative signs of the ionizing radiation in the atmosphere over the radioactive contamination region at the moment of its discovering by aero-cosmic remote sensing systems

Khismatov Igor (abu_serгей@rambler.ru), Suhorukov Alexander

Military Educational Scientific Center of Air Forces, 125167 Moscow, Russia

Возможность возникновения в современном мире радиоактивных загрязнений земной поверхности и атмосферы не только не уменьшается, но возрастает, будучи обусловлена комплексом факторов. Поэтому проблема контроля радиационной обстановки в окружающей среде продолжает оставаться актуальной, а вместе с ней актуальны и проблемы развития методов и средств дистанционного радиационного зондирования Земли. Оперативность и возможность применения в труднодоступных и опасных местах – вот отличительные особенности аэрокосмических средств дистанционного зондирования, указывающие на приоритет их развития. Для обнаружения радиоактивного загрязнения земной поверхности по первичным признакам, обычно, на основе измерительной информации о плотностях потока гамма-фотонов в априорно заданных каналах спектрометра, статистическими методами оценивают апостериорную вероятность соответствующей гипотезы. Основным информативным признаком при этом является вид мощностной характеристики в заданном интервале энергетического спектра заданной области поля ионизирующего излучения, характеризуемой высотой над земной поверхностью [1]. Более сложными являются задачи определения маршрутов ведения зондирования, оптимальных по требуемым критериям. Такими критериями, например, могут стать: обеспечение минимума времени ведения зондирования района заданной площади; обеспечение максимальной достоверности получаемой информации о наземной радиационной обстановке в пределах заданного района зондирования и др. Большой перспективой обладают методы обнаружения радиоактивного загрязнения земной поверхности аэрокосмическими средствами по вторичным признакам поля ионизирующего излучения в атмосфере. Основными из них являются слабоионизированная плазма, образованная в результате комптоновского взаимодействия гамма-фотонов с воздухом, и электромагнитное излучение в ультрафиолетовом диапазоне, возникающее в результате флуоресценции атомов атмосферного азота. При этом информативными признаками, позволяющими обнаружить радиоактивное загрязнение и

оценить его параметры, являются: вид зависимости от высоты коэффициента ослабления интегральной мощностной характеристики поля ионизирующего излучения в точке над плоским бесконечным источником; вид изолиний мощностных характеристик в поперечных сечениях следа радиоактивного облака, выпадения которого сформировали радиоактивное загрязнение местности; вид изолиний мощностных характеристик над эпицентром техногенной аварии, являющегося источником радиоактивного загрязнения. Априорная информация об этих признаках, полученная на основе численного моделирования [2], позволяет реализовывать методы оптимального оценивания характеристик поля ионизирующего излучения в атмосфере над радиоактивно загрязненной местностью.

1. Сухоруков А.И., И.Ф. Хисматов, И.Э. Новиков. *Основы теории аэрокосмического радиационного мониторинга Земли*. Ч. 1. Физические основы радиационного дистанционного зондирования Земли. М.: Изд. ВУНЦ ВВС, 2011, 312 с.
2. Хисматов И.Ф., И.Э. Новиков. Сравнение двух методов определения коэффициентов приведения информации воздушной радиационной разведки о мощности дозы излучения на высоте полета к наземным условиям. Всерос. научно-техническая конференция «IX Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского» *Материалы*. Ч. 1. М.: Изд. ВУНЦ ВВС, 2011, 395–397.

Исследование вертикальной структуры коэффициента преломления радиоволн в приземном слое с помощью сети приемников спутниковых систем навигации

Васильев А.А., Хуторова О.Г. (olga.khutorova@ksu.ru)

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Кремлевская 18, 420008 г. Казань, Россия

Для задач экологического мониторинга необходима оперативная информация о метеосостоянии атмосферы. В данной работе предлагается метод оценки высотной структуры пограничного слоя по данным сети приемников навигационных систем.

Первый этап решения обратной задачи – исследование высотной структуры тропосферы по радиозондовым данным. С помощью этих расчетов мы получили сезонные и годовые закономерности для поведения индекса рефракции радиоволн в зависимости от значений метеопараметров, угла места радиотрассы, высоты. Далее по этим профилям сделаны оценки вклада тропосферы в измерения дальности аппаратурой спутниковых навигационных систем. На втором этапе решается обратная задача методом регуляризации Тихонова. Полученные результаты показывают, что до высот 10 км решения хорошо соответствует реальным профилям.

В работе представлены результаты экспериментального исследования структуры индекса рефракции радиоволн и ее динамики сетью из семи наземных GPS-ГЛОНАСС приемников расположенных в г. Казани. Сравнение результатов дистанционного зондирования с данными метеостанции, радиозондирования и реанализа показало хорошее согласие. Среднеквадратичное отклонение результатов пассивного зондирования индекса рефракции от радиозондовых данных составило 6.8 N-ед на высоте до 500 м. Обнаружено, что структура индекса рефракции имеет как межсуточные вариации, так и мезомасштабную пространственную и временную изменчивость. При дальнейшем развитии этого метода и применении пространственно-разнесенных приемников возможно увеличение точности восстановления индекса рефракции, что позволит восстанавливать мезомасштабную структуру атмосферы.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Госконтракт № П162).

Наземные спектроскопические измерения содержания CO₂ в Петергофе

Ракитин А.В. (kit@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Приведены результаты интерпретации спектров прямого солнечного излучения в полосе CO₂ 2 мкм, измеренных наземным ИК спектральным комплексом на основе Фурье-спектрометра высокого спектрального разрешения Bruker IFS-125.

Представлены общие содержания и элементы вертикальных профилей углекислого газа. Описаны особенности выбора информативных спектральных интервалов и оценки погрешностей измерений содержания CO₂. Даны примеры временного хода общих содержаний CO₂ и элементов его вертикальной структуры.

Работа выполнена при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" (госконтракт № П969 от 27.05.2010 и № 16.740.11.0048) и НИР СПбГУ № 11.31.547.2010 и 11.37.28.2011.

Ground-based CO₂ spectroscopic measurements at Peterhof

Rakitin A.V. (kit@troll.phys.spbu.ru), Pobеровsky A.V., Timofeyev Yu.M.
Saint-Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, 198504 St. Petersburg-Petrodvorets, Russia

Results of interpretation of direct solar radiation spectra in the CO₂ 2 μm band measured by ground-based high spectral resolution Fourier spectrometer Bruker IFS-125 are presented. Procedure of selection of spectral intervals with high information content with respect to retrieval of CO₂ concentration is described. The CO₂ total column amount values are shown for the time period May 2009–July 2010 in terms of day- and month mean values. Seasonal variations are described.

The work was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation in the frame of Federal special-purpose program "Scientific and Educational Manpower of Innovative Russia" (contracts No 969 of 27.05.2010 and No 16.740.11.0048 of 31.08.2010) and by St.Petersburg State University (research projects 11.31.547.2010 and 11.37.28.2011).

Определение вертикальной структуры содержания озона в атмосфере наземным Фурье-спектрометром Брюкера

Виролайнен Я.А. (Yana.Virolainen@JV14952.spb.edu), Тимофеев Ю.М.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Рассмотрен наземный метод определения элементов вертикальной структуры озона на основе спектрометрических измерений с высоким спектральным разрешением (0.02–0.005 см⁻¹) солнечного ИК-излучения Фурье-спектрометром Брюкера в области полосы поглощения озона 9.6 мкм. Определены каналы, наиболее информативные в отношении изменчивости содержания озона в различных атмосферных слоях. Проанализированы оценки потенциальной точности определения вертикальной структуры содержания озона при различных атмосферных условиях. Показано, что погрешность измерения озона с вертикальным разрешением 8–10 км составляет 5–15 %.

Для определения содержания озона отобран архив спектров, измеренных в Петергофе в 2009–2010 гг. Проведена интерпретация измеренных спектров с помощью как оригинального разработанного программного обеспечения (ПО), так и широко используемого ПО SFIT2. Данные по общему содержанию озона (OCO) сопоставлены с данными независимых измерений: спутникового прибора OMI и наземных приборов Добсона и M-124 (в ГГО,

Воейково). Показано их хорошее согласование в пределах погрешностей измерения ОСО различных методов.

Впервые указанным прибором получены данные по содержанию озона в тропосфере и стратосфере, а также в других атмосферных слоях с вертикальным разрешением около 10 км. Продемонстрирован временной ход тропосферного содержания озона в районе Санкт-Петербурга.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы», гос. контракт № 16.740.11.0048 от 31.08.2010.

Atmospheric ozone vertical structure retrieval from ground-based Fourier-spectrometer measurements

Virolainen Ya.A., Timofeyev Yu.M.

St.Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

The ground-based method for ozone vertical structure determining has been considered. This method is based on the high resolution ($0.02\text{--}0.005\text{ cm}^{-1}$) spectroscopic measurements of solar IR radiation in $9.6\text{ }\mu\text{m}$ ozone absorption band by Bruker Fourier-spectrometer device. Spectral channels more sensitive for ozone content variability in different atmospheric layers have been determined. The potential accuracy of ozone vertical profile retrieval in various atmospheric conditions has been studied. It has been shown that the errors of ozone profile retrieval with 8–10 km vertical resolution total 5–15 %.

A specific database of solar spectra measured at Peterhof in 2009–2010 has been selected for ozone content retrieval. Selected spectra have been interpreted with originally developed software as well as with well-known SFIT2 software. The results of ozone column content have been compared with independent measurements made by satellite device OMI and ground-based spectrometers at Voeikovo – Dobson and M-124. It has been shown that all ozone total column data are in good agreement within the measurement errors of individual devices.

The ozone content in troposphere and stratosphere as well as in other thick ($\sim 10\text{ km}$ vertical resolution) atmospheric layers has been obtained by considered Bruker Fourier spectrometer for the first time. The temporal variability of ozone content in troposphere near St. Petersburg has been shown.

This work has been partly supported by Min. Education and Science grant in the frame of Federal Purposive Program “Scientific and Educational Pool of Innovational Russia” N16.740.11.0048 from 31.08.2010.

Статистический метод Больцмана и интерпретация данных самолетных и наземных измерений температуры и вертикальной скорости в конвективном приземном слое атмосферы

Вульфсон А.Н. (vulfson@ipng.ru), Бородин О.О. (borodin@ipng.ru)

Институт проблем нефти и газа РАН, ул. Губкина 3, Москва, Россия

Результаты комплексных наблюдений параметров конвективного приземного слоя атмосферы, полученные при дистанционных самолетных измерениях и наземных наблюдениях на метеобашнях и мобильных метеомачтах, указывают на хаотический и случайный характер локальных изменений температуры и скорости. Существенно, что глобальные турбулентные параметры атмосферы, связанные с вычислением средних потоков и функций распределений, оказываются весьма стабильными и практически не зависящими от способа наблюдений. При этом как теория, так и интерпретация целого ряда глобальных атмосферных параметров конвективного приземного слоя разработаны недостаточно подробно. В настоящем исследовании предложен вариант интерпретации многочисленных

усредненных данных наблюдений, использующий понятие ансамбля конвективных термиков и статистику Больцмана.

В работе [1] было впервые высказано предположение о том, что перенос тепла, количества движения и турбулентной энергии от нагретой подстилающей поверхности к вышележащим слоям дневного пограничного слоя атмосферы реализуется дискретными конвективными элементами (термиками). Подробнее о строении и форме термика см. [2]. Эмпирические данные о статистическом ансамбле термиков и их роли в формировании конвективного пограничного слоя атмосферы и приведены в работах [2–5].

В настоящей работе предложено теоретическое построение функций распределения термиков по температурам и скоростям, использующее метод Больцмана-Джейниса, подробнее см. [6, 7]. Построенные таким образом распределения конвективных термиков по температурам и скоростям согласуются с полученными ранее обширными натурными и лабораторными данными [2–5].

1. Scorer R.S., Ludlam F. H. Bubble theory of penetrative convection. *Quart. J. Roy Meteor. Soc.*, 1953, **79**, 339, 94–106.
2. Hunt J.C.R. Eddy dynamics and kinematics of convective turbulence. In: *Buoyant convection in geophysical flows*. (Eds. Plate E. J., Fedorovich. E.E., Viegas D.X., Wyngaard J.C.) NATO ASI Series C: Mathematical and physical science. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht–Boston–London, 1998, **513**, 41–82.
3. Manton M.J. On the structure of convection. *Boundary-Layer. Meteorol.*, 1977, **12**, 4, 491–509.
4. Lenschow D.H., Stephens P.L. The role of thermals in the convective boundary layer. *Boundary-Layer Meteorol.*, 1980, **19**, 4, 509–532.
5. Koprov B.M., Zubkovsky S.L., Koprov V.M., et al. Statistics of air temperature spatial variability in the atmospheric surface layer. *Boundary Layer Meteorol.*, 1998, **88**, 3, 399–423.
6. Вульфсон А.Н., Бородин О.О. Статистическая теория Больцмана и распределение крупных спонтанных струй по температурам в конвективном приземном слое атмосферы. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, 2008, **44**, 6, 450–458.
7. Vul'fson A.N., Borodin O.O. Size Distribution of Convective Thermals in an Unstable Stratified Turbulent Surface Layer. *Regular and Chaotic Dynamics*, 2009, **14**, 3, 421–429.

СЕКЦИЯ 3. "ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ"

Председатель: к.м.-ф.н. Л.П. Басс (ИПМ РАН, Москва)

Сопредседатели: к.м.-ф.н. В.М. Осипов (НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор),
к.м.-ф.н. Е.П. Зеге (Институт Физики НАНБ, Минск)

SESSION3. "RADIATION TRANSFER THEORY"

Chairman: Dr. L.P. Bass (IAM RAS, Moscow)

Co-chairmen: Dr. E.P. Zege (Institute of Physics, NASB, Belarus), Dr. V.M. Osipov
(RICTODS, Sosnovy Bor)

Радуга-6 – программа решения стационарного и нестационарного уравнений переноса излучения в 1D, 2D, 3D областях

Николаева О.В.¹ (nika@kiam.ru), Басс Л.П.¹, Кузнецов В.С.²

¹Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия.

²РНИЦ Курчатовский институт, пл. И. В. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Raduga-6 – the code to solve stationary and non-stationary radiation transfer equations in 1D, 2D, 3D regions

Nikolaeva O.V.¹, Bass L.P.¹, Kuznetsov V.S.²

¹ Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia

²Research Scientific Center "Kurchatov Institute" Moscow, Russia

Программа РАДУГА-6 – новая версия программы решения стационарных и нестационарных уравнений переноса поляризованного и неполяризованного излучения в 1D, 2D, 3D областях сеточным (детерминистским) методом на параллельных компьютерах в широких предположениях о свойствах среды и источниках. В частности, программа может быть применена для решения уравнения переноса оптического излучения в атмосфере, когда источником излучения является солнце (источник – параллельный поток частиц) или лидар (источник – узкий мононаправленный луч или расходящийся пучок небольшой апертуры, стационарный или импульсный). Поскольку при таких источниках интенсивности нерассеянных (а при мононаправленном луче и один раз рассеянных) частиц суть сингулярные функции, они не могут быть получены сеточными методами с достаточной точностью и должны определяться аналитическими формулами.

Для пространственной аппроксимации регулярной компоненты решения (отвечающей интенсивности один раз и более или два раза и более рассеянного света) используются сеточные WDD схемы первого-второго порядка точности на ортогональных сетках. Для решения системы сеточных уравнений используется одна из трех итерационных схем:

- 1) метод итераций по столкновениям;
- 2) метод Зейделя;
- 3) двуслойный итерационный метод, состоящий из итерции по столкновениям (на первом полушаге) и расчете ускоряющей KP1 поправки (на втором полушаге).

Угловая зависимость индикатрис рассеяния от угла рассеяния может быть задана как P_N разложением по полиномам Лежандра любого, даже очень высокого порядка (вплоть до 1000), так и значениями сечений рассеяния в ячейках равномерной сетки по косинусу угла рассеяния. Таким образом, исходные данные могут включать в себя индикатрисы рассеяния, полученные как по теории Ми, так и найденные в экспериментах.

В программе реализованы алгоритмы расчета областей с несколькими типами граничных условий – черной или ламбертовой поверхности, зеркального или полного внутреннего отражения. Программа опирается на комбинаторное задание геометрии расчетной области с помощью тел-примитивов и использует систему вложенных итерационных циклов, единую для всех геометрий и источников. Таким образом, решение стационарных и нестационарных задач, задач для поляризованного и неполяризованного

света проводится единым образом. Вычисления могут быть выполнены как с одинарной, так и с двойной точностью, в зависимости от требований задачи.

Распараллеливание вычислений выполнено с помощью команд языка MPI, обмена данными между процессорами осуществляются с помощью асинхронных пересылок. Далее предполагается выполнить дополнительное распараллеливание с использованием видеоускорителей (технология CUDA), что даст возможность решать спектральные и обратные задачи.

В докладе приводятся результаты решения краевых задач для поляризованного излучения в 3D областях (характеристики отраженного и прошедшего солнечного света), представлены данные об эффективности распараллеливания вычислений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, грант 10-02-01416-а.

О развитии линейной теории переноса

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

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

The advance of linear transport theory

Bass L.P., Nikolaeva O.V.

Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia

Новые задачи атмосферной оптики, связанные с вопросами изменения климата, загрязнения атмосферы, а также новые технологии исследования состояния атмосферы при помощи светорассеяния (гиперспектральное зондирование и т.д.) стимулируют дальнейшее развитие теории переноса излучения.

В докладе кратко обсуждаются следующие проблемы теории переноса излучения:

1. Рассеяние в случайных средах.
2. Рассеяние в средах без локального термодинамического равновесия.
3. Общие свойства решения векторного уравнения переноса (в том числе для оптически активных сред).
4. Обоснование методики решения гиперспектральных задач с помощью лебеговского усреднения.
5. Получение асимптотических приближений к решению уравнения переноса в неоднородных задачах.
6. Свойства решения уравнения переноса в средах с несферическими частицами.
7. Обоснование и развитие сеточных и статистических методов решения уравнения переноса.

Работа поддержана программой № 14 (п. 3.1) Президиума РАН на 2011 г.

Распространение однократно-рассеянного поляризованного излучения в плоской оптически активной среде с учетом отражения на внешней границе

Басс Л.П.¹ (bass@kiam.ru), Грачёва А.И.²

¹*Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия*

²*Московский инженерно-физический институт, Каширское ш. 31, 115409 Москва, Россия*

Single-scattered polarized radiation transfer in the slab optically active medium with the reflecting boundary

Bass L.P.¹ (bass@kiam.ru), Gracheva A.I.²

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia*

²*National Research Nuclear University, Moscow, Russia*

Рассматриваются модельные задачи о распространении поляризованного света в плоской оптически активной и неактивной средах. Параллельный поток неполяризованного света падает по нормали к поверхности слоя.

Задачи решаются аналитически в приближении 1-й кратности рассеяния. Матрица рассеяния – релеевская. Оптически активная среда характеризуется двойным лучепреломлением и дихроизмом. Вместо диагональной матрицы с коэффициентами экстинкции для параметров Стокса неактивной среды в системе уравнений применяется 4-х мерная матрица, в матрице рассеяния и граничном условии отражения также учитываются свойства активной среды.

Полученные результаты показывают увеличение степени поляризации света в оптически активной среде.

Работа поддержана программой № 14 (п. 3.1) Президиума РАН на 2011 г.

Эффективность реализации алгоритмов решения уравнения переноса излучения для плоского слоя

Будак В.П. (BudakVP@mpei.ru), Ефременко Д.С., Шагалов О.В.

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Современные высокоточные алгоритмы расчета прохождения излучения через плоский слой мутной среды базируются на аналитическом решении дискретизованного уравнения переноса излучения (УПИ). Теория переноса основана на лучевом приближении, которое неизбежно порождает особенности в пространственно-угловом распределении яркости светового поля. Дискретизация возможна только после аналитического выделения анизотропной части решения, содержащей все особенности точного. После вычитания дискретизация УПИ проводится методом дискретных ординат.

Эффективность дискретизации определяется возможностью представления интеграла рассеяния в виде однократного применением теоремы сложения для сферических функций. В случае векторного УПИ плоскости референции поляризации упавшего и рассеянного лучей не совпадают, что требует применения ротатора, что нарушает симметрию для различных компонент параметра Стокса и делает невозможным применение теоремы сложения. Это можно преодолеть переходом в циркулярный базис и использованием обобщенных сферических функций, для каждой из которых имеет место особый вид теоремы сложения. Однако в этом случае все коэффициенты в УПИ становятся комплексными, что затрудняет использование численных методов. Поэтому после применения теоремы сложения производится возврат в представление Стокса, что позволяет дискретизировать УПИ.

Дискретизованное УПИ приобретает вид системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами с краевыми условиями,

которой можно придать матричный вид. Система имеет аналитическое решение в виде матричной экспоненты. Разрешая полученное выражение относительно отраженного и прошедшего слой излучение, получим матрицу пропускания слоя – рассеивателей. Представление решения через матрицу рассеивателей обладает свойством инвариантности: выражение для двух смежных слоев эквивалентно исходному, а элементы матрицы выражаются через оригинальные для слоев – матрично-операторный метод (МОМ). МОМ позволяет перейти к решению прохождения излучения через вертикально стратифицированный слой.

При реализации алгоритма на компьютере требуется решать задачу на собственные значения и перемножать матрицы, т.е. использовать пакеты линейной алгебры. Эффективность реализации определяется, прежде всего, размерами входящих матриц, которые определяются количеством дискретных ординат. Размер матриц можно снизить за счет различных процедур усечения элементов матрицы рассеяния, где наиболее эффективным является delta-M метод. Однако процедуры усечения ведут к искажению исходной задачи (отбрасывания грубой фракции частиц) и приводят к ошибке в области малых углов и осцилляциям. Более эффективным является путь максимально точного определения анизотропной части решения. Вблизи особенности угловой спектр распределения яркости медленно монотонно убывает, что позволяет сформулировать уравнение, описывающее анизотропную часть решения и имеющее аналитическое решение – малоугловая модификация метода сферических гармоник (МСГ).

На сегодня наиболее эффективными библиотеками линейной алгебры являются LAPACK, IMSL и NAG, которые имеют свои реализации для большинства операционных систем. При использовании процессоров Intel наиболее целесообразно использование версии LAPACK для этих процессоров – MKL. В настоящее время для ускорения матричных операций активно используется система CUDA для процессоров графических плат. Ускорение CUDA возрастает с ростом используемых массивов, но если использованы методы уменьшения их размеров, то эффективность падает. Наши оценки дают около 20 % ускорения.

Эффективность вычислений для стратифицированных сред с помощью МОМ можно существенно увеличить, если учесть связь рассеивателей с пропагаторами (решение исходного матричного уравнения). Пропагатор системы слоев есть их произведение, что позволяет получить выражение рассеивателя всей системы слоев без использования МОМ.

Данный алгоритм позволяет эффективно решать проблемы анизотропного рассеяния. Однако часто имеются пики углового распределения индикатрисы рассеяния в других направлениях, например радуги. Наилучшим путем решения этих проблем является использование пропагаторов для представления поля внутри слоя и вычисление итерации от решения.

Algorithm realization efficiency of radiative transfer equation solution for slab

Budak V.P. (BudakVP@mpei.ru), Efremenko D.S., Shagalov O.V.

Moscow Power Engineering Institute (TU), Krasnokazarmennaya 14, 111250 Moscow, Russia

The modern high-accuracy algorithm of radiation transmission computing through a turbid medium slab based on the analytical solution of the discretized radiative transfer equation (RTE). The radiative transfer equation is grounded on the ray approximation, which inevitably generates singularities in the radiance spatial – angular distribution of the light field. The discretization of equation is possible only after the analytical elimination of the solution anisotropic part including all singularities of the exact solution.

The discretization efficiency is determined by the possibility of the scattering integral representation as the single integral using the addition theorem for the spherical function. In case of vectorial RTE the polarization reference plains of incident and scattered rays do not coincide that

demands the usage of rotator. That disturbs the transformation symmetry for the different Stokes parameters and makes impossible the usage of the addition theorem. It can be overcome by the passage to the circular basis and the usage of the generalized spherical functions, for which it is the special form of the addition theorem. However in this case all the coefficients in RTE becomes complex that impedes the usage of numerical methods. Therefore after the addition theorem application we return to the Stokes representation that allows discretizing RTE.

The discretized RTE takes the form of the ordinary linear differential equation system with constant coefficients with the boundary conditions, which can be transformed to the matrix form. This system has an analytical solution in the form of matrix exponent. Solving the obtained expression relative to the reflected and transmitted by slab radiation we get the transfer matrix of slab – the scatterers. The representation of solution through the scatterers possesses the property of invariance: the expression for two adjoining layers is equivalent to the original, and the matrix elements are expressed through the original for the layers – the matrix operator method (MOM). MOM allows passing to the solution of the radiation transmission through the vertically stratified slab.

At the algorithm realization on the computer it demands to solve the eigenvalue problem and multiply the matrices, i.e. the usage of the linear algebra package. The efficiency of realization is determined first of all by the sizes of the matrix entering into the expression, which are determined by the numbers of the discrete ordinate. The size of these matrices can be reduced using the different procedures of the scattering matrix elements truncation, where the most effective method is delta-M. But all the truncation procedures lead to the distortion of the original problem (suppression of the coarse particle fraction) and result in the errors and oscillations in the small angles area. The method of the accurate solution anisotropic part elimination is more effective. Nearby the singularity the angular spectrum of the radiance distribution decreases slowly monotonic that allows stating the equation describing the solution anisotropic part. This equation has an analytical solution – small angle modification of the spherical harmonic method (MSH). Math Kernel Library (MKL) is a package that is specially optimized for Intel processors.

Nowadays LAPACK, IMSL and NAG are the most effective libraries of the linear algebra. At the present time one uses for the acceleration of the matrix operations the CUDA system for the graphics processing units. The CUDA acceleration increases with rising size of used matrices, but if the methods of their size reduction are used, its efficiency drops.

The computation efficiency for the stratified media by MOM can be increased essentially taking into account the relations between the scatterers and propagators (the solution of the initial matrix equation). The propagator of the layer set is the production of every layer propagator that allows getting the expression for the whole scatterer of the layer set without MOM usage.

This algorithm allows solving effectively the problems of the anisotropic scattering. However often there are peaks of the phase function in other directions, for example, the rainbow. The best solution of these problems is the propagator usage for the field representation inside the slab and the calculation of the solution iteration.

Малоугловые приближения решений УПИ для узких пучков в мутной среде

Илюшин Я.А. (ilyushin@physics.msu.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы, 119992
Москва, Россия*

Исследование полей узких световых пучков в мутных средах является важной задачей как с фундаментально-теоретической, так и с прикладной точки зрения. Поле инфинитезимального ТМ источника представляет собой элементарное фундаментальное решение (функцию Грина) уравнения переноса излучения (УПИ), в виде линейной комбинации которых может быть представлено любое решение УПИ, то есть световое поле,

созданное в мутной среде произвольной конфигурацией источников. С появлением лазерных источников света импульсного и непрерывного действия задача приобрела также и важное практическое значение.

В большинстве работ приняты те или иные приближения, упрощающие численное решение задачи. Так, в средах небольшой оптической толщины решение хорошо аппроксимируется в приближении однократного или двукратного рассеяния, которое может быть найдено непосредственным численным интегрированием. Для морской воды, атмосферного аэрозоля, облаков, биологических жидкостей и тканей и других практически важных сред характерны сильно вытянутые индикатрисы рассеяния. В этом случае для решения УПИ эффективно используется малоугловое приближение. Для нахождения поля в задней полусфере направлений в средах с сильно анизотропным рассеянием применяется приближение квазиоднократного обратного рассеяния. Во многих работах сделаны и другие упрощающие допущения, в частности, о гауссовском характере распределения интенсивности поля как по сечению пучка, так и по углам распространения.

В ряде случаев точность общепринятых приближений оказывается недостаточной. Так, в большинстве известных решений УПИ в малоугловом приближении дисперсия длин путей распространения излучения, рассеянного на малые углы, учитывается неудовлетворительно или не учитывается вообще.

В данной работе сформулировано усовершенствованное решение для направленного точечного источника света в плоскостной среде [1] и представлены результаты численных расчетов. Обсуждаются вопросы видимости лазерных навигационных маяков в тумане, дыме и других условиях недостаточной видимости, обусловленных рассеянием оптического излучения в среде. Также получены решения для нестационарных и импульсных полей ТМ-источников. Обсуждаются задачи распространения импульсов и передачи информации. Исследованы также задачи для уравнения переноса излучения в двумерной рассеивающей среде.

Автор благодарит администрацию НИВЦ МГУ за предоставление доступа к вычислительным ресурсам высокопроизводительного комплекса СКФ МГУ «Чебышев».

1. Ylyushin A.I and V.P. Budak. Narrow-beam propagation in a two-dimensional scattering medium. *J. Opt. Soc. Am.*, 2011, A 28, 76–81.

Эффективный алгоритм расчета функции отражения для случая полубесконечной дисперсной среды и произвольной индикатрисы рассеяния

Роговцов Н.Н.¹ (rogovtsov@bntu.by), Боровик Ф.Н.² (bfn@hmti.ac.by),
Кохановский А.А.³ (alexk@iup.physik.uni-bremen.de)

¹Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости 65, 220013 Минск, Республика Беларусь

²Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ, ул. П. Бровки 15, 220072 Минск, Республика Беларусь

³Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости 65, 220013 Минск, Республика Беларусь; *Institute of Environmental Physics, University of Bremen, Germany*

Многие реальные и искусственные дисперсные среды характеризуются сильно изменяющимися в пределах единичной сферы фазовыми функциями (индикатрисами рассеяния). В частности, к такого рода дисперсным средам относятся облака, моря и снежные поверхности. При решении прямых и обратных задач теории переноса излучения (РТТ) для случая сильно анизотропных фазовых функций (в частности, для сильно вытянутых в направлении вперед) возникают две достаточно сложные проблемы. К первой из них относится проблема построения корректных аналитических и численных методов решения краевых задач РТТ, позволяющих, в принципе, с наперед заданной точностью получать искомые решения. Ко второй относится проблема получения приемлемых по

точности решений краевых задач RTT за допустимые для приложений временные промежутки. Следует особо отметить, что без достаточно полного учета математических свойств решений краевых задач RTT практически невозможно получить решения указанных выше проблем с достаточно высокой точностью для любых фазовых функций и любого набора задаваемых аргументов и параметров искомых функций. В связи со сказанным выше, представляет интерес построение методов и алгоритмов, которые полноценно учитывали бы фундаментальные математические свойства решений краевых задач RTT, обладали бы универсальностью (т.е. были бы применимы для любых фазовых функций и любого набора задаваемых аргументов и параметров) и позволяли бы для практически важных ситуаций получать искомые результаты в реальном масштабе времени.

В данной работе будет описан эффективный алгоритм вычисления функции отражения (RF) для случая полубесконечной локально изотропной и макроскопически однородной полубесконечной плоскопараллельной дисперсной среды и практически любой фазовой функции. Этот алгоритм позволяет надежно получать высокоточные значения для RF и может использоваться для любых фазовых функций, достаточно хорошо аппроксимируемых частичными суммами их разложений в ряды по полиномам Лежандра, которые содержат не более 5000–7000 слагаемых. Точность и эффективность данного алгоритма являются следствиями практически полного учета математических свойств решений характеристических уравнений RTT (точные решения таких уравнений были получены в статье [1]; см. также [2]) и классических результатов теорий разностных уравнений и непрерывных дробей (см., например, [1–3]). Частичная апробация этого алгоритма для ряда модельных и реальных фазовых функций была проведена в работах [1–4]. Он применим для отыскания RF для любых значений альбедо однократного рассеяния и любых направлений падающего и выходящего излучений. Возможности алгоритма будут продемонстрированы на целом ряде конкретных примеров геофизических фазовых функций. Этот алгоритм может использоваться как при расчетах RF для случая любых геофизических дисперсных сред, так и при тестировании результатов иных численных методов и приближенных методик отыскания RF.

1. Роговцов Н.Н. О решении характеристического уравнения теории переноса излучения в замкнутой форме. *Труды международной конференции "Краевые задачи, специальные функции и дробное исчисление"*, 16–20 февраля 1996, Минск, Беларусь, 305–312.
2. Rogovtsov N.N., Borovik F.N. The characteristic equations of radiative transfer theory. In *Light Scattering Reviews*. Chichester UK: Springer-Praxis, vol. 4 (A.A. Kokhanovsky, ed.), 2009, 347–429.
3. Rogovtsov N.N. General invariance relations reduction method and its applications to solutions of radiative transfer problems for turbid media of various configurations. In *Light Scattering Reviews*. Chichester, UK: Springer-Praxis. vol. 5 (A.A. Kokhanovsky, ed.), 2010, 249–327.
4. Rogovtsov N.N., Borovik F.N. and Kokhanovsky A.A. An effective algorithm of calculating the reflection function for a case of an arbitrary phase function. Abstracts NATO Advanced Study Institute on Special Detection Technique (Polarimetry) and Remote Sensing, 12–25 September 2010, Kyiv, Ukraine, P. 99.

The effective algorithm of calculating a reflection function for the case of a semi-infinite turbid medium and arbitrary phase function

Rogovtsov N.N.¹ (rogovtsov@bntu.by), Borovik F.N.², Kokhanovsky A.A.³

¹Belarusian National Technical University, Pr. Nezavisimosti 65, 220013 Minsk, Belarus

²Heat and Mass Transfer Institute, National Academy of Science of Belarus, P. Brovki str. 15, 220072 Minsk, Belarus

³Institute of Environmental Physics, University of Bremen, O. Hahn Allee 1, D-28334 Bremen, Germany

Many real and artificial turbid media are characterized by phase functions (scattering indicatrices) abruptly changing in the range of the unity sphere. In particular clouds, snow surfaces and seas are such turbid media. In solving primal and inverse problems of radiation transfer theory (RTT) for the case of strongly anisotropic phase functions (in particular for highly extended in the forward direction) there appear two rather complex problems. The first problem is to construct correct analytical and numerical methods of solving RTT boundary-value problems that allow to

obtain the required solutions of a predetermined accuracy. The second problem is a reasonable computer time that is necessary to obtain solutions of admissible accuracy. It should be emphasized that it is practically impossible to obtain the solutions (of problems above mentioned) of rather high accuracy for the case of any phase functions and any set of given arguments and parameters of required functions. Therefore it is of interest to construct methods and algorithms that constructively take into account fundamental mathematical properties of RTT boundary-value problem solutions and for practically important situations allow to obtain results in real-time for any phase functions and any set of given arguments and parameters.

In this work the effective algorithm of calculating a reflection function (RF) for the case of semi-infinite local-isotropic macroscopically homogeneous plane-parallel turbid medium and practically any phase function will be presented. This algorithm allows one to obtain exact values of RF and can be used for any phase functions that can be approximated by series in Legendre polynomials containing no more than 5000–7000 addends. The exactness and effectiveness of the algorithm are the consequence of the practically total account of mathematical properties of solutions of RTT characteristic equations (the exact solutions of these equations are presented in [1]; see also [2]) and using the continued fraction and difference equation theories (for example, [1–3]). For a number of modeling and real phase functions this algorithm was used in [1–4]. This algorithm allows one to calculate RF for any values of single-scattering albedo and for any directions of incident and outgoing radiation. The algorithm capabilities will be shown with examples of a number of concrete geophysical phase functions. This algorithm can be used to test approximate techniques of calculating RF.

1. Rogovtsov N.N. On solving the characteristic equation of radiation transfer theory in analytical form. *Proceedings of international conference "Boundary-value problems, special functions and fraction calculus"*, 16–20 February 1996, Minsk, Belarus, 305–312.
2. Rogovtsov N.N., Borovik F.N. The characteristic equations of radiative transfer theory. In *Light Scattering Reviews*. Chichester UK: Springer-Praxis, vol. 4 (A.A. Kokhanovsky, ed.), 2009, 347–429.
3. Rogovtsov N.N. General invariance relations reduction method and its applications to solutions of radiative transfer problems for turbid media of various configurations. In *Light Scattering Reviews*. Chichester, UK: Springer-Praxis, vol. 5 (A.A. Kokhanovsky, ed.), 2010, 249–327.
4. Rogovtsov N.N., Borovik F.N. and Kokhanovsky A.A. An effective algorithm of calculating the reflection function for a case of an arbitrary phase function. Abstracts NATO Advanced Study Institute on Special Detection Technique (Polarimetry) and Remote Sensing, 12–25 September 2010, Kyiv, Ukraine, P. 99.

Приложение метода редукции общих соотношений инвариантности к корректному выводу асимптотик для различных характеристик полей излучения в дисперсных средах различной конфигурации

Роговцов Н.Н. (rogovtsov@bntu.by)

Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости 65, 220013 Минск, Республика Беларусь

При решении целого ряда прямых и обратных проблем теории переноса излучения (RTT) особую ценность представляют различные относительно простые аналитические и полуаналитические решения краевых задач (BVPs) для уравнения переноса излучения (RTE). К такого рода решениям, в частности, относятся асимптотические решения BVPs (для RTE), в которых в качестве параметров, стремящихся к определенным значениям (конечным или бесконечным), зачастую берутся оптические расстояния между источниками и приемниками (для случая плоскопараллельных дисперсных сред эти параметры могут иметь смысл оптических глубин или оптических толщин слоев) или альбедо однократного рассеяния ω_0 (оно стремится к нулю или единице). По-видимому, первый существенный результат RTT, который относится к получению асимптотик для азимутально усредненных коэффициентов яркости ρ^0, σ^0 для случая консервативного и изотропного рассеяния, был получен В.В. Соболевым в 1956 г. (при этом в качестве параметра бралась оптическая толщина τ_0

плоскопараллельного макроскопически однородного слоя). В 1961 г. Т.А. Гермогенова [1] для случая произвольной фазовой функции (индикатрисы рассеяния) и любого $\omega_0 \in (0,1]$ на основе математически строгих рассуждений нашла общий вид асимптотических формул для ρ^0, σ^0 при $\tau_0 \rightarrow +\infty$. Исходя из правдоподобных (но не совсем строгих) физических рассуждений, Н.С. van de Hulst и В.В. Соболев в 1968 г., по существу, получили те же самые асимптотические формулы, которые ранее строго вывела Т.А. Гермогенова. В 1977 г. Н. Domke удалось обобщить эти асимптотические формулы на случай векторных аналогов коэффициентов яркости. Отметим, что все упомянутые выше асимптотики для азимутально усредненных коэффициентов яркости содержали не более двух главных членов. При записи указанных ранее асимптотик была использована информация о минимальном неотрицательном дискретном корне классического варианта приведенного характеристического уравнения RTT [2, 3], соответствующего азимутально усредненной фазовой функции, и сведения о первой собственной функции, которая сопоставляется данному корню. Кроме этого, при получении асимптотик для ρ^0, σ^0 считались известными решение проблемы Милна и азимутально усредненный коэффициент отражения для случая полубесконечной макроскопически однородной плоскопараллельной среды.

Заметим, например, что для случая реальных геофизических дисперсных сред (облака, моря, снежные образования) фазовые функции являются резко анизотропными и соответствующие им приведенные характеристические уравнения RTT могут иметь, кроме минимального неотрицательного дискретного корня, еще десятки и сотни такого рода корней на полуинтервале $[0; 0.9999]$. Все эти дополнительные дискретные корни порождают определенные вклады в функции ρ^0, σ^0 , что приводит к сужению области применения отмеченных выше классических асимптотических формул в качестве аппроксимационных аналитических выражений для ρ^0, σ^0 . Это сужение имеет место в силу полного игнорирования данных вкладов в классических асимптотиках для функций ρ^0, σ^0 . В 1974 г. Н.В. Коновалов, по-видимому, впервые указал, что на основе метода Кейса, в принципе, можно получить многочленные асимптотики для коэффициентов яркости, в которых учитывалась бы информация о некоторой конечной части дополнительных дискретных корней приведенных характеристических уравнений RTT. В теории переноса излучения на основе ряда допущений были также получены двучленные и трехчленные асимптотики [4, 5] для азимутально усредненного коэффициента яркости и плоского, сферического альbedo, соответственно. При этом в качестве параметра в данных асимптотиках фигурирует не оптическая толщина, а альbedo однократного рассеяния, которое стремится к единице. Кроме того, при получении этих асимптотик считались известными усредненный по азимуту коэффициент яркости полубесконечной консервативно рассеивающей плоскопараллельной среды и решение проблемы Милна для такой же среды.

Следует особо подчеркнуть, что строгий вывод асимптотик (для характеристик полей излучения в дисперсных средах различной конфигурации) не должен основываться на недоказанных допущениях и гипотезах, которые частично были использованы в работах [4, 5]. Строгие методы получения разнообразных асимптотик (в частности, многочленных) были предложены в публикациях [1, 3, 6–12]. Если в работах [1, 9, 10] при выводе искомых глубинных асимптотик применялись методы функционального анализа, то в статьях [3, 6, 7, 11, 12] при получении соответствующих асимптотик применялся метод редукции общих соотношений инвариантности (GIRRM). В данном сообщении будут описаны возможности GIRRM для отыскания разнообразных асимптотик для случая оптически толстых дисперсных сред различной конфигурации или почти консервативно рассеивающих плоскопараллельных полубесконечных сред. Будут также отмечены некоторые различия между асимптотиками для плоского альbedo, полученными строго с помощью GIRRM и посредством правдоподобных допущений и гипотез, использованных в работах [4, 5].

1. Гермогенова Т.А. О характере решения уравнения переноса для плоского слоя. *Ж. вычисл. матем. и матем. физики*, 1961, **1**, 6, 1001–1019.

2. Роговцов Н.Н. О решении характеристического уравнения теории переноса излучения в замкнутой форме. Труды международной конференции «Краевые задачи, специальные функции и дробное исчисление». 16–20 февраля 1996, Минск, Беларусь, 305–312.
3. Rogovtsov, N.N., Borovik, F.N. The characteristic equation of radiative transfer theory. In *Light Scattering Reviews*, vol. 4 (A.A. Kokhanovsky, ed.), Chichester, UK: Springer-Praxis, 2009, 347–429.
4. Sobolev, V.V. *Light Scattering in Planetary Atmospheres*. New York: Pergamon Press, 1975:
5. Yanovitskij, E.G. *Light Scattering in a Inhomogeneous Atmosphere*. New York: Springer-Verlag, 1997.
6. Роговцов Н.Н. Асимптотика полей излучения в сферически и цилиндрически симметричных оптически толстых рассеивающих средах. *Доклады АН БССР*, 1986, **30**, 10, 901–904.
7. Роговцов Н.Н. Асимптотика поверхностной функции Грина уравнения переноса излучения для однородной полубесконечной среды. *Доклады АН БССР*, 1988, **32**, 12, 1085–1088.
8. Роговцов Н.Н. О некоторых асимптотиках полей излучения в плоских однородных средах, содержащих точечные источники. *Астрофизика*, 1988, **29**, 3, 602–612.
9. Гермогенова Т.А., Павельева Е.Б. Характеристическое уравнение в задачах о переносе излучения в протяженных цилиндрических областях. *Ж. вычисл. матем. и матем. физики*, 1989, **29**, 8, 1195–1211.
10. Павельева Е.Б. Асимптотика решения уравнения переноса излучения в диске большого радиуса с источником в окрестности оси симметрии. Препринт № 97, Москва: ИПМ АН СССР, 1990: 27с.
11. Роговцов Н.Н. О поле излучения в глубине полубесконечной мутной среды, содержащей точечный направленный источник. *Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана*, 1990, **26**, 10, 1082–1088.
12. Rogovtsov, N.N. General invariance relations reduction method and its applications to solutions of radiative transfer problems for turbid media of various configurations. In *Light Scattering Reviews*, vol. 4 (A.A. Kokhanovsky, ed.), 2010, 249–327.

Application of general invariance relations reduction method to correct derivation of asymptotics for different field characteristics in turbid media of different configurations

Rogovtsov N.N. (rogovtsov@bntu.by)

Belarusian National Technical University, Pr. Nezavisimosty 65, 220013 Minsk, Belarus

In solving a number of primal and inverse problems of radiation transfer theory (RTT), different relatively simple analytical and semi-analytical solutions of boundary-value problems (BVPs) for radiation transfer equation (RTE) are of great importance. Such solutions are in particular asymptotic solutions of BVPs (for RTE) in which as a rule the optical distance (for example, optical depths or optical thickness) between sources and receivers or a single-scattering albedo are the parameters that go to given values (finite or infinite). Of course an albedo can go to zero or unit. In 1956 V.V. Sobolev obtained the asymptotics for azimuthally averaged coefficients of brightness for the case of conservative and isotropic scattering (an optical thickness of plane-parallel macroscopically homogeneous slab was a parameter). In 1961 T.A. Germogenova for the case of an arbitrary phase function and any $\omega_0 \in (0,1]$ using mathematically rigorous considerations derived the general form of asymptotic formulas for ρ^0, σ^0 when $\tau_0 \rightarrow +\infty$. On the basis of reasonable (but not rigorous) physical considerations H.C. van de Hulst and V.V. Sobolev in 1968 obtained in essentials the same formulas. In 1977 H. Domke succeeded in generalizing these asymptotic formulas to the case of vector analogs of brightness coefficients. It should be noted that these asymptotics formulas contained no more than two dominant terms. In deriving the asymptotics mentioned above the information of the minimal non-negative discrete root of classical variant of reduced characteristic equation of RTT [2, 3] and the information of the first eigen function corresponding to this root are used. In addition the solution of Milne's problem and the azimuthally averaged reflection coefficient for the case of semi-infinite macroscopically homogeneous plane-parallel medium are used too.

It should be noted that for real geophysical turbid media (clouds, seas, snow objects) phase functions are sharply anisotropic and corresponding reduced characteristic equations of RTT can have tens or hundreds of roots at interval $[0; 0.9999)$. All these roots generate contributions in functions ρ^0, σ^0 , which restricts the range of validity of formulas pointed out above as approximate analytical expressions for ρ^0, σ^0 since these contributions are ignored in classical asymptotics. In

1974 N.V. Konovalov appears to be the first who pointed out that using Case's method it is possible to obtain polyadic asymptotics for brightness coefficients taking into account contributions some finite part of discrete roots on interval $[0; 1)$. In [4, 5] binomial and trinomial asymptotics were obtained for azimuthally averaged brightness coefficients, plane and spherical albedo. In these works the asymptotic parameter is a single-scattering albedo (not optical thickness) which goes to unit. In addition Milne's problem solution is used.

It should be emphasized that rigorous derivation of asymptotics must not use unproved assumptions which took place in [4, 5]. Rigorous methods of obtaining different asymptotics (in particular polyadic) were suggested in [1, 3, 6–12]. In [1, 9, 10] functional analysis methods were used but in [3, 6, 7, 11, 12] the general invariance relations reduction method (GIRRM) was applied. In our report will be presented the capabilities of GIRRM to obtain various asymptotics for the case of optically thick turbid media of different configurations or for almost conservatively scattering plane-parallel semi-infinite media. Some difference between plane albedo asymptotics obtained with GIRRM rigorously and obtained with assumptions used in [4, 5] will be pointed out too.

1. Germogenova, T.A. On the properties of the transport equation for a plane-parallel layer. *J. Appl. Math. Comp. Phys.*, 1961, **1**, 928–946.
2. Rogovtsov N.N. On solving the characteristic equation of radiation transfer theory in analytical form. *Proc. of Int. conf. "Boundary-value problems, special functions and fraction calculus"*, 16–20 February 1996, Minsk, Belarus, 305–312.
3. Rogovtsov, N.N., Borovik, F.N. The characteristic equation of radiative transfer theory. In *Light Scattering Reviews*, vol. 4 (A.A. Kokhanovsky, ed.), Chichester, UK: Springer-Praxis, 2009, 347–429.
4. Sobolev, V.V. *Light Scattering in Planetary Atmospheres*. New York: Pergamon Press, 1975.
5. Yanovitskij, E.G. *Light Scattering in a Inhomogeneous Atmosphere*. New York: Springer-Verlag, 1997.
6. Rogovtsov N.N. Asymptotical formulas for radiation fields in spherically and cylindrically symmetrical optically thick scattering media. *Dokl. Akad. Nauk BSSR*, 1986, **30**, 901–904.
7. Rogovtsov N.N. An asymptotic expression for the surface Green function of the radiative transfer equation for the case of a homogeneous semi-infinite medium, *Dokl. Akad. Nauk BSSR*, 1988, **32**, 1085–1088.
8. Rogovtsov N.N. Some asymptotic expressions for the radiation fields in plane homogeneous media containing point sources. *Astrophysics*, 1988, **29**, 781–787.
9. Germogenova T.A., Pavelyeva E.B. The characteristic equation in radiative transfer problems in elongated cylindrical regions. *USSR Comp. Mathem. and Mathematical Physics*, 1991, **29**, 158–170.
10. Pavelyeva E.B. Asymptotics of solution to the equation of radiation transport in a disk of large radius with source near the symmetry exist. Preprint No 97, Moscow: IPM Akad. Nauk SSSR. 1990.
11. Rogovtsov N.N. On the radiation field at a depth in a semi-infinite turbid medium containing a point directional source. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Fiz. Atmos. Okeana*, 1990, **26**, 1082–1088.
12. Rogovtsov, N.N. General invariance relations reduction method and its applications to solutions of radiative transfer problems for turbid media of various configurations. In *Light Scattering Reviews*, vol. 4 (A.A. Kokhanovsky, ed.), 2010, 249–327.

Canopy spectral invariants: theoretical basis and their applications

Knyazikhin Yuri (jknjazi@bu.edu)

Boston University, Department of Geography and Environment, 675 Commonwealth Avenue, Boston, MA 02215, USA

Interaction of solar radiation with the vegetation canopy is described by the three-dimensional radiative transfer equation. The interaction cross-section that appears in this equation is treated as wavelength independent considering the size of the scattering elements (leaves, branches, twigs, etc.) relative to the wavelength of solar radiation. Although the scattering and absorption processes are different at different wavelengths, the interaction probabilities for photons in vegetation media are determined by the structure of the canopy rather than photon frequency or the optics of the canopy. This feature results in unique spectrally invariant behavior for a vegetation canopy bounded from below by a non-reflecting surface: some simple algebraic combinations of the single-scattering albedo and canopy spectral transmittances and reflectances eliminate their dependencies on wavelength through the specification of two spectrally invariant variables – the recollision and

escape probabilities. These variables specify an accurate relationship between the spectral response of a vegetation canopy to incident solar radiation at the leaf and the canopy scale. They are sensitive to important structural features of the canopy such as forest cover, tree density, leaf area index, crown geometry, forest type and stand age.

This concept underlies the NASA operational algorithm of global leaf area index, and the fraction of photosynthetically active radiation absorbed by vegetation developed for the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) and multiangle imaging spectroradiometer (MISR) instruments of the Earth Observing System (EOS) Terra mission. The canopy spectral invariants have also been exploited in developing a long-term biophysical data record from multiple sensors. Here we will discuss the mathematical basis of the concept, which is linked to eigenvalues and eigenvectors of the three-dimensional radiative transfer equation.

Моделирование лидарных сигналов методом Монте-Карло с учетом многократного рассеяния в облаках

Пригарин С.М. (sergeim.prigarin@gmail.com)

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

Monte Carlo simulation of multiply scattered LIDAR returns from clouds

Prigarin S.M. (sergeim.prigarin@gmail.com)

*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, av. Ak. Lavrentjeva 6, 630090
Novosibirsk, Russia*

Лидарное зондирование является эффективным средством для исследования оптических и микрофизических свойств рассеивающих сред. Существенный интерес представляет решение соответствующих прямых и обратных математических задач. В докладе рассматривается программное математическое обеспечение, представленное на веб-странице автора [<http://osmf.sccc.ru/~smp>] и предназначенное для моделирования распространения лидарных импульсов в плоском слое (или круговом цилиндре) с учетом многократного рассеяния.

Программное обеспечение позволяет исследовать процессы распространения импульсов моностатических и бистатических лидаров для различных моделей оптических сред и зондирующих сигналов. В основе моделирующих алгоритмов лежит метод Монте-Карло, что является одним из наиболее универсальных подходов для имитации процессов переноса излучения и распространения лазерных импульсов. Зависимость интенсивности лидарного сигнала от времени вычисляется с помощью «локальной оценки». Разработана также версия программы, позволяющая моделировать пространственно-временной сигнал для широкоугольного лидара. В качестве примеров приводятся результаты нескольких вычислительных экспериментов, связанных с зондированием атмосферной облачности наземными и космическими лидарами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (09-05-00963).

ALVL 1.0: An advanced line-by-line radiative transfer model for the retrieval of atmospheric constituents from satellite and ground-based measurements

Kochenova Svetlana (svetlana.kochenova@aeronomie.be), De Mazière Martine, Vandaele Ann Carine, Kerzenmacher Tobias, Letocart Vincent, Kumps Nicolas, and Willame Yannick
Belgian Institute for Space Aeronomy (BIRA-IASB), 3 Avenue Circulaire, Uccle 1180, Belgium

ALVL is a combination of five scientific codes, namely, ASIMUT, LIDORT, VLIDORT, SPHER and T-MATRIX, each of which handles a specific set of physics-related tasks. ASIMUT is a high-resolution line-by-line radiative transfer (RT) code developed at BIRA-IASB for performing simplified RT tasks by accounting for gaseous absorption, thermal emissions and solar reflection from the surface. ASIMUT keeps the governing role in the ALVL package by controlling input/output, calculating physical parameters such as optical depths related to molecular absorption, modelling instrument convolution/apodisation, etc. It also contains an optimal estimation method (OEM) based on the analytical determination of Jacobians for the retrieval of concentrations of different atmospheric constituents. LIDORT (scalar, no polarization) and VLIDORT (vectorized, with polarization) are advanced linearized RT codes in the form of subroutine packages developed and distributed by R. Spurr, RT Solutions, Cambridge, MA, USA. Their main tasks are to solve atmospheric RT problems of various degrees of complexity and to generate fields of analytic derivatives of radiances (Jacobians) with respect to atmospheric and surface variables. SPHER and T-MATRIX are two aerosol/ice cloud processing codes for calculating aerosol/ice cloud parameters which are usually required as inputs in RT algorithms, e.g., optical depth, single scattering albedo, and scattering matrix expansion coefficients. They have been developed and distributed by M. Mishchenko, NASA GISS, New York, USA. SPHER is intended for modelling polydisperse homogeneous spherical particles, while T-MATRIX deals with non-spherical particles (e.g., dust particles, ice clouds). Graphical presentation of the results is possible with the help of MATLAB functions incorporated in ASIMUT.

As such, the ALVL package has large scientific potential and can be used to:

- model the propagation of UV-visible-IR radiation through a coupled atmosphere-surface system for a large range of atmospheric, spectral and geometrical conditions;
- exploit the synergy that exists between different instruments, including ground and space-based sensors (e.g., high-resolution Fourier-transform (FTIR) spectrometers);
- retrieve the concentrations of gases and aerosol/ice cloud properties through the use of Jacobians and OEM.

The presentation will include a comparison between ALVL and another forward and inverse radiative transfer code, and several example applications of ALVL, namely:

- simulation of ground-based FTIR measurements collected in Reunion Island in August 2010;
- retrieval of O₃ and H₂O profiles, volcanic ash aerosol and ice cloud layer concentrations from IASI (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) data collected over the Eyjafjallajökull volcano, Iceland, in April 2010;
- simulation of SPICAM (Spectroscopic Investigation of the Characteristics of the Atmosphere of Mars) measurements on Mars under calm-weather and dust storm conditions.

Сопоставление моделей континуума, используемых для расчета потоков излучения в окне прозрачности атмосферы Земли 8–12 мкм

Фирсов К.М.¹ (fkm.volsu@mail.ru), Чеснокова Т.Ю.², Бобров Е.В.¹

¹Волгоградский государственный университет, Университетский пр. 100, 400062 Волгоград, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

В докладе проводится анализ моделей континуума, используемых в задачах переноса излучения в окне прозрачности атмосферы 8–12 мкм, и описываются результаты численного моделирования нисходящих потоков теплового излучения. Предлагается схема возможного натурного эксперимента для уточнения моделей континуального поглощения. Для моделирования потоков радиации широко используется эмпирическая модель MTCKD. Данная модель постоянно совершенствуется на основе лабораторных и натурных данных. Так, например, одна из ее версий CKD2.4 верифицировалась на основе натурных наблюдений нисходящих потоков излучения в окне 8–12 мкм [1] и достаточно неплохо описывала результаты натурных измерений. Более поздние версии этой модели корректировались на основе наблюдений в микро-окнах прозрачности 6.3 мкм и вращательной полосе паров воды. Однако все эти версии для окна 8–12 мкм практически не менялись до появления новых лабораторных измерений континуального поглощения при температурах, превышающих 311 К [2]. Последняя версия этой модели MTCD2.5 скорректирована с учетом этих данных.

Наш анализ показал, что эта новая версия не гарантирует повышения качества расчетов нисходящих потоков радиации. Как правило, для описания коэффициента поглощения на заданной длине волны задают три параметра: T_s , C_s , C_f (T_s – параметр, определяющий температурную зависимость коэффициента континуального поглощения в случае самоуширения, C_s , C_f – коэффициенты поглощения при нормальных условиях в случае самоуширения и уширения воздухом). Коэффициент C_s определен с достаточно хорошей точностью при температурах превышающих 296 К, а C_f дает заметный вклад лишь при низких температурах и в настоящее время определен только по порядку величины. Причиной этого является малость коэффициентов поглощения при низких температурах. Согласно данным работы [3] сопоставление измеренных и рассчитанных потоков нисходящего излучения с различными моделями континуума (коэффициенты C_f различались на порядок) не позволило обнаружить расхождение. Однако результаты нашего моделирования [4] показывают, что для ряда метеорологических условий разброс расчетных значений нисходящих потоков для таких моделей может достигать заметных величин. Нам также удалось показать, что различным набором параметров T_s , C_s , C_f возможно получить близкие значения коэффициентов континуального поглощения для широкого диапазона метеорологических условий, реализующихся в атмосфере Земли. Особо следует обратить внимание на то, что в этом случае при уменьшении параметра T_s нам приходилось увеличивать параметр C_f . На основе результатов численного моделирования нами были построены регрессионные зависимости нисходящих потоков от общего содержания паров воды в атмосфере Земли и показано, что потоки могут быть чувствительны к разным значениям коэффициентов C_f .

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" № 02.740.11.5198 и грантов РФФИ № 11-07-00660, №11-05-97044-р_поволжье_а.

1. Mlawer E.J., Clough S.A., Brown P.D., Tobin D.S. Recent Developments in the Water Vapor Continuum. *Proc. of the ninth Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Science Team Meeting*, San Antonio, Texas, 1999, 503–511.
2. 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. *JQSRT*, 2008, **109**, 2291–2302.
3. Tjemkes S.A., Patterson T., et al. The ISSWG line-by-line inter-comparison experiment. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 2003, **77**, 433–453.
4. Фирсов К.М., Чеснокова Т.Ю. Чувствительность нисходящих длинноволновых потоков радиации к континуальному поглощению паров воды. *Оптика атмосферы и океана*, 2010, **23**, 8, 650–655.

Влияние формы контура перекрывающихся линий поглощения метана на точность описания экспериментальных спектров поглощения в диапазоне атмосферных давлений уширяющих газов

Чеснокова Т.Ю. (ches@iao.ru), Капитанов В.А., Протасевич А.Е., Осипов К.Ю.,
Пономарев Ю.Н., Воронина Ю.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

Общее содержание метана в атмосфере может быть определено из атмосферных измерений солнечного излучения в диапазоне 1.63–1.67 мкм. Точность определения концентрации метана в значительной степени зависит от исходной спектроскопической информации, используемой при моделировании спектров поглощения метана. В работе рассмотрен вклад неопределенности параметров линий поглощения метана в современных банках данных в вычисление атмосферного пропускания, а также интерференция линий поглощения CH₄.

На основе лабораторных измерений спектров поглощения метана на диодном лазерном двухканальном спектрометре определены параметры перекрывающихся линий поглощения мультиплетов R5 и R9 метана, уширенных азотом и неоном при давлениях уширяющих газов 0.005–0.5 атм. Обработка спектров производилась разработанной в ИОА программой одновременной подгонки модельного спектра к экспериментальным спектрам, зарегистрированным при различных давлениях. Программа использует существующие модели контуров спектральных линий (Фойгта, Раутиана-Собельмана, Розенкранца) и линейные зависимости параметров контуров спектральных линий от давлений, при которых регистрируются спектры. Проведено сравнение полученных параметров контуров линий (интенсивностей, коэффициентов сдвига, уширения и сужения) с литературными данными.

Работа выполнена при поддержке программы ОФН РАН, проект 3.9.4. (эксперимент) и гранта РФФИ №10-05-00764-а.

Influence of methane overlapping absorption lines profile on an accuracy of experimental absorption spectra modeling in a range of the atmospheric pressures of broadening gases

Chesnokova T.Yu. (ches@iao.ru), Kapitanov V.A., Protasevitch A.E., Osipov K.Yu.,
Ponomarev Yu.N., Voronina Yu.V.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Academician Zuev sq. 1, 634021 Tomsk, Russia

Methane total amount in the atmosphere can be retrieved from the atmospheric measurements of the solar radiation in the 1.63–1.67 μm spectral region. An accuracy of the methane concentration retrieval depends strongly on initial spectroscopic information, used for methane absorption spectra modelling. In the work a contribution of line parameters uncertainties in the modern spectroscopic databanks to the atmospheric transmission calculation is considered.

The overlapping absorption lines parameters of the methane R5 and R9 multiplets, broadened by N₂ and Ne at the broadening gases pressures of 0.005–0.5 atm, are determined from the laboratory measurements by two channels diode laser spectrometer. The spectra are treated by the developed in the IAO program of simultaneous fitting of the model to the experimental spectra, recorded at different pressures. The program uses known models of spectral line profiles (Voigt, Rautian-Sobelman, Rosenkranz) and is based on the linear dependence of line profile parameters on the pressures at which the spectra are recorded. A comparison of the new determined parameters of line profiles (intensities, and coefficients of broadening, shifting and narrowing) with literature data is carried out.

The work is supported by the program of RAS, project 3.9.4. (experiment) and RFBR grant №10-05-00764-a.

Деполаризация ультракороткого импульса света в толстых слоях рассеивающей среды

Кузовлев А.И. (aikuzov@yandex.ru), Городничев Е.Е., Ивлиев С.В., Рогозкин Д.Б.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Каширское ш. 31, 115409 Москва,
Россия

Depolarization of ultrashort pulse of light in thick slabs of a scattering medium

Kuzovlev A.I., Gorodnichev E.E., Ivliev S.V., Rogozkin D.B.
National Research Nuclear University "Moscow Engineering Physics Institute", Kashirskoe shosse 31, 115409
Moscow, Russia

Исследовано распространение ультракороткого импульса поляризованного света через оптически толстый слой рассеивающей среды с крупномасштабными (размер больше длины волны) неоднородностями. Интерес к этой проблеме обусловлен возможностью использовать поляризацию для выделения распространяющихся по почти прямолинейным траекториям лидирующих фотонов, которые применяются на практике для получения изображения объектов или неоднородностей внутри среды. Согласно данным экспериментов [1, 2], прошедший свет сохраняет первоначальную поляризацию в течение малого временного интервала после прихода баллистической составляющей. В толстом слое мутной среды (водной суспензии микросфер латекса) деполаризация линейно поляризованных импульсов происходит в течение первых 100 пикосекунд.

В настоящей работе в приближении основных поляризационных мод разработан теоретический подход, позволяющий рассчитать временной профиль интенсивности поляризованных составляющих и степень поляризации в ультракоротком световом импульсе. В модели рэлеевской матрицы рассеяния со степенной индикатрисой (типа Хенни-Гринштейна) получены простые аналитические выражения для зависимости степени поляризации от запаздывания. Показано, что фотоны, распространяющиеся по прямолинейным траекториям, не деполаризуются. Поляризация затухает по мере увеличения разности между пройденным путем и глубиной. В толстых слоях рассеивающей среды степень линейной поляризации не зависит от толщины образца и затухает на временах порядка транспортного времени свободного пробега. Этот результат объясняет данные экспериментов [1, 2]. Циркулярная поляризация в средах с крупными неоднородностями затухает медленнее – на масштабе порядка времени пробега между деполаризующими столкновениями. Предсказанная для затухания линейной поляризации универсальная зависимость подтверждается сравнением с результатами численного моделирования [3, 4].

1. Horinaka H., K. Hashimoto, K. Wada, Y. Cho. Extraction of quasi-straightforward-propagating photons from diffused light transmitting through a scattering medium by polarization modulation *Optics Letters*, 1995, **20**, 1501–1503.
2. Demos S.G., R.R. Alfano. Temporal gating in highly scattering media by the degree of optical polarization *Optics Letters*, 1996, **21**, 161–163
3. Bruscalgioni P., G. Zaccanti, Q. Wei. Transmission of a pulsed polarized light beam through thick turbid media: numerical results *Applied Optics*, 1993, **32**, 6142–6150.
4. Ishimaru A., S. Jaruwatanadilok, Y. Kuga. Polarized pulse waves in random discrete scatterers *Applied Optics*, 2001, **40**, 5495–5502.

Radiative transfer through terrestrial atmosphere and ocean: modeling with SCIATRAN

Rozanov V. (Vladimir.Rozanov@iup.physik.uni-bremen.de), Rozanov A., Kokhanovsky A., Burrows J.P.

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

The SCIATRAN 3.1 package is a result of further development of the SCIATRAN 2.X software family which, similar to previous versions, comprises a radiative transfer model and a retrieval block. After an implementation of the vector radiative transfer model in SCIATRAN 3.0 the spectral range covered by the model has been extended into the thermal infrared spectral ranging to approximately 40 micrometers. Another major improvement has been done accounting for the underlying surface effects. Among others, a sophisticated representation of the water surface with a bidirectional reflection distribution function (BRDF) has been implemented accounting for the Fresnel reflection of the polarized light and for the effect of foam. A newly developed representation for a snow surface allows radiative transfer calculations to be performed within an unpolluted or soiled snow layer. Furthermore, a new approach has been implemented allowing radiative transfer calculations to be performed for a coupled ocean-atmosphere system. This means that, the underlying ocean is not considered as a purely reflecting surface any more. Instead, full radiative transfer calculations are performed within the water allowing the user to simulate the radiance within both the atmosphere and the ocean.

Similar to previous versions, the simulations can be performed for any viewing geometry typical for atmospheric observations in the UV-Vis-NIR spectral range (nadir, limb, off-axis, etc.) as well as for any observer location within or outside the Earth's atmosphere including underwater observations. Similar to the precursor version, the new model is freely available for non-commercial use via the web page of the University of Bremen. In this presentation a short description of the software package, especially of the new features of the radiative transfer model is given, including remarks on the availability for the scientific community. Furthermore, some examples of the model applications are shown.

Текущая версия полинейной модели FLBLM-2011 (Fast Line-By-Line Model)

Фомин Б.А.¹ (b.fomin@mail.ru), Фалалеева В.А.² (victory@phystech.edu)

¹Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

²Московский физико-технический институт, Институтский 9, Долгопрудный, Моск. обл., Россия

При разработке текущей версии FLBLM учитывалась тенденция применения в космических исследованиях Земли и планет спектрометров с высоким разрешением – вплоть до $\sim 0.1\text{--}0.01\text{ см}^{-1}$, а также усложнение методов измерений. Так с помощью японского Фурье-спектрометра FTS-TANSO, установленного на спутнике GOSAT (Япония), проводятся измерения поляризации солнечного излучения отражённого от атмосферы и поверхности в спектральных каналах шириной $\sim 0.3\text{ см}^{-1}$.

К настоящему моменту FLBLM представляет собой набор программных модулей, позволяющих рассчитывать потоки и интенсивности атмосферной радиации с учётом: 1) НЛТР-эффектов; 2) эффекта интервенции линий CO₂ (модель Артмана и др., Франция; и Тонкова-Филиппова, Россия); 3) поляризационных эффектов и др.

В докладе будет представлена как сама модель, так и рассмотрена её валидация с помощью недавних взаимосравнений кодов CIRC (<http://circ.gsfc.nasa.gov>) и CCMVAL (www.env.leeds.ac.uk/~piers/ccmvalrad.shtml).

Работа поддержана грантами РФФИ (11-01-00021 и 09-01-00071).

Current version of the Fast Line-By-Line Model (FLBLM-2011)

Fomin Boris¹ (b.fomin@mail.ru), Falaleeva Victoria² (victory@phystech.edu)

¹Central Aerological Observatory, Pervomajskaja str. 3, 141700 Dolgoprudny Moscow Region, Russia

²Moscow Institute of Physics and Technology, Institutskij per. 9, Dolgoprudny Moscow Region, Russia

High-resolution trend of spectroscopy in space research of the Earth and other planets (up to about 0.1-0.01 cm⁻¹) as well as the complication of the measurement methods were taken into account while developing the current version of FLBLM. Measurements of polarization of solar radiation reflected from the atmosphere and surface in the bands of width about 0.3 cm⁻¹ are carried out with the help of Japanese Fourier spectrometer FTS-TANSO, installed on the satellite GOSAT (Japan). Now FLBLM is a set of software modules able to calculate fluxes and intensities of atmospheric radiation in terms of: 1) non-LTE effects; 2) Line-Coupling effect of CO₂ (models by Hartmann et al. (France) and Tonkov-Filippov (Russia)); 3) Polarization effects etc.

In the report we will present both the model itself and its validation by the recent code intercomparisons CIRC (<http://circ.gsfc.nasa.gov>) and CCMVAL (www.env.leeds.ac.uk/~piers/ccmvalrad.shtml).

This work was supported by RFBR grants (11-01-00021 and 09-01-00071).

Аналитическая приближенная методика для оценок параметров рассеянного поляризованного излучения в релеевской атмосфере

Чайковская Л.И. (Lch@light.basnet.by)

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

Для прикладных проблем, связанных с переносом коротковолнового излучения в атмосфере, таких как мониторинг атмосферного аэрозоля на базе наземных спектрофотометров или объединенными спектрофотометрическими и лидарными методами, оценки уровня приземного УФ-излучения, определение общего содержания озона и др., могут быть применены приближенные подходы и алгоритмы, которые включают как составную часть расчет энергетических и поляризационных параметров излучения многократно рассеянного в слое атмосферы с молекулярным рассеянием. Слой с молекулярным рассеянием в этих подходах используется в качестве упрощенной модели верхней части реальной атмосферы.

Решения и данные численных расчетов, определяющие поляризованные световые поля в слое с рассеянием Рэлея с подстилающей поверхностью, известны. Они описаны во многих работах (начиная с работ С. Чандрасекара [1], Коулсона, Дэйва и Секеры [2]). Однако, в большинстве своем эти результаты были получены при рассмотрении освещения границы слоя неполяризованным светом. При решении комплексных атмосферных задач могут встречаться ситуации, когда падающее на границу слоя излучение не является неполяризованным (например, если световой источник излучает поляризованный свет или/и рассматривается оптическое взаимодействие слоя с другими атмосферными слоями или поверхностью). Для этих задач нужны методики определения 4x4 матрицы Грина проблемы переноса, причем, важны не только численные алгоритмы расчета матрицы, но и решения, записанные в приближенной аналитической форме, которые удобны для оценок и физического рассмотрения.

В данной работе предлагается приближенное аналитическое решение для 4x4 матрицы Грина проблемы рассеяния поляризованного излучения слоем среды с релеевским рассеянием и произвольным поглощением при освещении его границы бесконечно широким световым пучком. Аналитическая форма решения весьма удобна для создания быстро-расчетных модулей в алгоритмах решений комплексных задач. Решение выведено на основе векторной теории переноса при использовании разложения элементов матрицы Грина в ряды по азимутальным гармоникам. Для определения коэффициентов разложения был применен

метод, являющийся обобщением приближенного решения «скалярной атмосферной задачи», описанного в монографиях Соболева В.В. [3, 4]. Это приближенное решение строится путем подстановки приближения Эддингтона в уравнение переноса с аппроксимированным ядром и проведения следующей итерации решения уравнения. Развитое в данной работе обобщение метода включает приближение для поляризационных характеристик излучения, аналогичное приближению Эддингтона для плотности и потока излучения, и построенные на его основе решения, определяющие угловые распределения элементов матрицы Грина.

В работе приводятся результаты расчетов по аналитической методике угловых распределений элементов матрицы для молекулярной атмосферы с диффузно отражающей поверхностью и результаты сравнения с данными, полученными на основе метода удвоения. Проводится обсуждение свойств многократного рассеяния поляризованного излучения в молекулярной атмосфере, где отмечается, что коэффициент рассеяния для циркулярно поляризованного излучения в среде с рэлеевским рассеянием несколько меньше, чем для линейно поляризованного.

1. Чандрасекар С. *Перенос лучистой энергии*. М.: ИЛ, 1953, 431 с.
2. Coulson K.L., Dave J.V., Sekera Z. *Tables related to radiation emerging from a planetary atmosphere with Rayleigh scattering*. Berkley-Los-Angelos: University of California Press, 1960.
3. Соболев В.В. *Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет*. М.: ГИТТЛ, 1956, 391 с.
4. Соболев В.В. *Рассеяние света в атмосферах планет*. М.: «Наука», 1972, 335 с.

Analytical approximate technique to evaluate parameters of scattered polarized radiation in Rayleigh atmosphere

Chaikovskaya L.I. (Lch@light.basnet.by)

Institute of Physics, NANB, ave. Nezavisimosty 68, 220072 Minsk, Belarus

For applied problems concerned with the transfer of radiation (in the UV and Visible) in the atmosphere, such as the monitoring of atmospheric aerosols on the base of spectrophotometers or by united spectrophotometric and lidar methods, estimations of the UV radiation level in the surface layer, determination of total ozone and some others, approximate techniques and algorithms which involve computation of energy and polarization parameters of multiple- scattered radiation in the molecular layer of atmosphere can be applied. The molecular layer of atmosphere here presents a simplified model of the upper part of the real atmosphere.

In this work an approximate analytical solution defining the 4x4 Green's matrix of the problem of polarized radiation transfer in a medium layer with Rayleigh scattering and arbitrary absorption with infinitely wide incident light beam is suggested. Analytical form of the solution provides convenience of creation on its base of rapidly computing modules in algorithms of solving complex tasks. The solution has deduced on the base of the vector transfer theory with using the azimuth Fourier expansion and expansion in the Generalized spherical functions. The extension of the scalar approximate technique described in the monographs by V.V. Sobolev [1, 2] to the vector equations has been made.

In the work, results of computations by the developed analytical technique of the angular patterns of Green's matrix elements and results of comparison of the developed technique with computations on the base of the doubling method are shown. Features of multiple scattering of linearly and circularly polarized radiation in the Rayleigh atmosphere are discussed.

1. Sobolev VV. *A Treatise of Radiative Transfer* (Chapter 10). D van Nostrand, New York, 1963.
2. Sobolev VV. *Light Scattering in Planetary Atmospheres* (Chapter 8). Pergamon Press, Oxford, 1975.

Численное исследование влияния неоднородностей снежной поверхности на яркость отраженного солнечного света

Николаева О.В.¹ (nika@kiam.ru), Кохановский А.А.²

¹*Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия.*

²*Institute of Environmental Physics, University of Bremen, O. Hahn Allee 1, D-28334 Bremen, Germany*

Numerical research of the influence of the snow surface roughness on the brightness of reflected solar light

Nikolaeva O.V.¹ (nika@kiam.ru), Kokhanovsky A.A.²

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia*

²*Institute of Environmental Physics, University of Bremen, O. Hahn Allee 1, D-28334 Bremen, Germany*

Рассматривается задача об отражении солнечного света от неоднородной снежной поверхности и возникающие при этом в отраженной яркости минимумы и максимумы. Были исследованы неоднородности трех видов: цилиндрическая яма бесконечной глубины, прямоугольная канава бесконечной протяженности и прямолинейная граница снег/море.

Моделирование выполнено с помощью сеточного метода дискретных ординат (программа Радуга-6) на параллельных компьютерах в 2D и 3D пространственных областях. Индикатрисы рассеяния были получены с использованием методов геометрической оптики для ледяных кристаллов и теории Ми для сферических аэрозольных частиц, соответственно и учтены в расчетах точно, без привлечения упрощающих аппроксимаций. Верификация полученных результатов была выполнена сравнением с результатами расчетов одномерных задач в расположенных далеко от неоднородности точках пространственной области, где решение (яркость) не зависит от горизонтальных переменных.

Наблюдаются значительные горизонтальные вариации отраженной яркости в окрестности неоднородности. В зависимости от угла визирования, условий освещения и оптической плотности атмосферы эти вариации могут быть существенными на сравнительно больших расстояниях от неоднородности.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы № 14 (п. 3.1) Президиума РАН на 2011 г.

Аналитическое решение уравнения переноса излучения в 3D-геометрии для перенормированной индикатрисы Хеньи-Гринштейна

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

Минский государственный высший радиотехнический колледж, пр. Независимости 62, 220005 Минск, Беларусь

Многократное рассеяние света дисперсной средой ограниченной протяженности является одной из сложнейших проблем теории переноса излучения. Трудности её решения определяются необходимостью учёта с одной стороны высокой кратности рассеяния, а с другой – краевых эффектов на границах среды [1]. В докладе приводятся результаты теоретического рассмотрения задачи о многократном рассеянии света пространственно ограниченной дисперсной средой применительно к моделям кучевых облаков простейших геометрических форм. Исследование светорассеивательных свойств облаков необходимо для описания процесса поступления солнечной радиации к Земле в условиях облачности, интерпретации оптических наблюдений из космоса, оценки энергетического баланса облаков. Результаты многочисленных исследований радиации, полученных методом Монте-Карло для моделей кучевых облаков, показывают, что их рассеивательные эффекты существенно отличаются от эффектов, создаваемых полубесконечными облачными слоями. Это накладывает дополнительные требования на обоснование метода аналитического решения уравнения переноса излучения. Рассеяние света в элементарном акте рассеяния света облачной средой характеризуется сильно выраженной анизотропией, представление

которой с использованием полиномов Лежандра требует большого числа слагаемых. Невозможность учёта всех коэффициентов разложения в методе сферических гармоник переводит его в разряд приближенных методов теории переноса.

В докладе многократное рассеяние света в трёхмерном объёме рассматривается с позиций строгого аналитического решения уравнения переноса излучения (УПИ). Модельная среда характеризуется индикатрисой Хеньи-Гринштейна с параметром асимметрии, соответствующим облачному аэрозолю. Высокая анизотропия рассеяния описывается приближенно с помощью операции перенормирования индикатрисы, заключающейся в учёте излучения, рассеянного в области малых углов, в качестве прямо прошедшего излучения. Такая операция является удобным математическим приемом, облегчающим аналитическое решение задачи, так как при этом задача сводится к линейной индикатрисе рассеяния. Нами получено аналитическое решение УПИ в трёхмерной среде для перенормированной индикатрисы Хеньи-Гринштейна. По данным расчетов получена зависимость от оптической толщины характеристик отражения, пропускания и поглощения солнечного излучения при вариации геометрических размеров облаков в горизонтальном направлении. Изучен характер распределения плотности излучения внутри и на границах облака. Выявлены закономерности формирования потоков излучения, выходящих через боковую поверхность, при изменении оптической толщины и условий освещения облака. Изучена угловая структура интенсивности излучения внутри и на границах облака. Для простейших форм облака проведено сопоставление с данными расчета методом Монте-Карло. На всех стадиях исследования данные при использовании перенормированной индикатрисы оценивались путём сравнения с данными, полученными по разработанной нами строгой аналитической теории. Результаты такого тестирования могут быть полезны для сравнительной оценки достоверности расчётов для других известных приближенных методов.

1. *Перенос радиации в рассеивающих и поглощающих атмосферах*. Перевод с англ. Под ред. Ж. Ленобль. Л: Гидрометеиздат, 1990.

Базис ортогональных G-функций и проблема аналитического решения уравнения переноса излучения

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

Минский государственный высший радиотехнический колледж, пр. Независимости 62, 220005 Минск, Беларусь

Со времени получения уравнения переноса излучения (УПИ) неоднократно предпринимались попытки его аналитического решения для произвольной индикатрисы рассеяния [1]. Они стимулировались необходимостью решения практически важных задач астрофизики, атмосферной оптики, гидрооптики, оптики дисперсных сред, физики переноса нейтронов и др. Основная трудность, которая считается непреодолимой при попытках аналитического решения УПИ, как известно, связана с необходимостью учитывать бесконечно большое число членов в разложении индикатрисы рассеяния по сферическим функциям. Желание преодолеть это препятствие привело к развитию численных и приближенных аналитических методов, таких, например, как диффузионное и малоугловое диффузионное приближение, P_n – приближение метода сферических гармоник. Однако известные приближенные решения сильно идеализированы и во многих случаях не позволяют получать физически корректные результаты. Так, метод сферических гармоник приводит к погрешностям в области малых углов рассеяния. Метод малоуглового приближения, напротив, игнорирует очень важную информацию в области больших углов рассеяния. Качественный анализ УПИ показывает, что его свойства существенно отличаются от свойств классических уравнений математической физики. Многопараметричность и сложная внутренняя структура оператора УПИ создали непреодолимые трудности на пути его аналитического решения. Этим определяются, в частности, и известные погрешности, сопровождающие решения обратных задач, связанных с оптической диагностикой

атмосферы при проведении наземных и космических экспериментов. Поэтому, в настоящее время все большее внимание уделяется разработке методов, основанных на аналитических решениях УПИ, в максимальной степени учитывающих информацию, заключенную в реальных угловых и пространственных распределениях оптических параметров среды.

В докладе рассматривается авторский метод аналитического решения УПИ, который предполагает отказ от бесконечной системы известных сферических функций, построения нового базиса ортогональных G-функций и использования его для построения замкнутого аналитического решения. Система ортогональных G-функций является единственной простейшей системой, разложение по которой приводит к разделению переменных в уравнении переноса излучения. Благодаря этому её исключительному свойству удается разделить угловые и пространственные переменные и преобразовать УПИ к системе дифференциальных уравнений в частных производных для пространственно зависимых функций. Следует отметить при этом, что метод обеспечивает использование полной информации об оптических свойствах среды. В работе получено аналитическое решение краевой задачи для пространственно зависимых функций в трехмерной геометрии. Найдено явное выражение функции Грина, обеспечивающее замкнутый характер решения УПИ. Решение для интенсивности имеет вид разложения в базисе G-функций конечномерного функционального пространства, допускающее обобщение на векторный случай. Аналитические решения для реальных сред могут найти применение для тестирования приближенных, асимптотических и численных методов теории переноса излучения в атмосферах планет.

1. Иванов В.В. Столетие интегрального уравнения переноса. В: *Рассеяние и поглощение света в природных и искусственных природных средах*. Под ред. А.П. Иванова. Минск: Ин-т физики АН БССР, 1991, 10–36.

Систематизация опубликованных параметров спектральных линий молекул метана, силана и германа

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

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

Вельмузова И.А., Сенников П.Г. (sen@ihps.nnov.ru)

Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г.Десятых РАН, ул. Тропинина 49, 603950 Нижний Новгород, Россия

Григорович Н.М., Филиппов Н.Н.

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

В докладе представлены результаты работы по сбору и систематизации опубликованных экспериментальных значений параметров спектральных линий (ПСЛ) молекул метана, силана и германа. Систематизация собранных ПСЛ необходима для получения достоверного набора значений, снабженных детальной информацией о том, кем и когда они получены, где опубликованы и каково качество данных, содержащихся в публикации. Этот набор предназначен для решения двух групп задач.

К первой группе относятся типовые задачи молекулярной спектроскопии, среди которых ведущее место занимает обратная задача по определению уровней энергии молекул. Подобный анализ для молекулы воды сделан в работах [1, 2]. Ко второй группе задач относятся задачи контроля достоверности данных о ПСЛ, публикуемых в экспертных массивах ПСЛ (например, HITRAN [3] или GEISA [4]). Пример контроля достоверности данных по молекуле воды описан в работе [5].

Авторами собраны параметры спектральных линий из более чем 300 публикаций по метану и 70 публикаций по силану и герману и их изотопомеров ($^{12}\text{CH}_2\text{D}_2$, $^{12}\text{CH}_3\text{D}$, $^{12}\text{CHD}_3$, $^{12}\text{CD}_4$, $^{13}\text{CH}_4$, SiH_3D , SiHD_3 , GeHD_3 , GeH_3D) за период последних 80 лет; собранные данные

размещены в информационной системе (<http://wadis.saga.iao.ru>). Систематизация ПСЛ основана на построении базы знаний, позволяющей предоставлять адекватные ответы на запросы, касающиеся качества опубликованных фактов по молекулам метана, силана и германа.

Авторы благодарны РФФИ за финансирование работы в рамках грантов (08-07-00318-а и 11-07-00660-а).

1. Tennyson J., P.F. Bernath, L.R. Brown, et al. IUPAC Critical Evaluation of the Rotational-Vibrational Spectra of Water Vapor. Part I. Energy Levels and Transition Wavenumbers for H_2^{17}O and H_2^{18}O . *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2009, **110**, 9, 573–596.
2. Tennyson J., P.F. Bernath, L.R. Brown, et al. IUPAC critical evaluation of the rotational–vibrational spectra of water vapor. Part II: Energy levels and transition wavenumbers for HD^{16}O , HD^{17}O , and HD^{18}O . *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2010, **111**, 15, 2160–2184.
3. Rothman L.S., I.E. Gordon, A. Barbe, et al. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2009, **110**, 9, 533–572.
4. Jacquinet-Husson N., N.A. Scott, A. Chédin, et al. The GEISA spectroscopic database: Current and future archive for Earth and planetary atmosphere studies. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2008, **109**, 6, 1043–1059.
5. Лаврентьев Н.А., Макогон М.М., Фазлиев А.З. Сравнение спектральных массивов данных HITRAN и GEISA с учетом ограничения на опубликование спектральных данных. *Оптика атмос. и океана*, 2011, **24**, 4, 279–292.

СЕКЦИЯ 4. "ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ С ОБЛАКАМИ И АЭРОЗОЛЕМ"

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

Сопредседатели: д.ф.-м.н. А.Г. Петрушин (ИЭМ, Обнинск), проф. Е.Ф. Михайлов (СПбГУ, Санкт-Петербург), д.ф.-м.н. Л.Р. Дмитриева (Гидрометцентр, Москва), Dr. Alexander Smirnov (NASA/Goddard Space Flight Center, USA)

SESSION 4. "RADIATION-CLOUD AND RADIATION-AEROSOL INTERACTIONS"

Chairman: Prof. G.I. Gorchakov (IFA RAS, Moscow)

Co-chairmen: Prof. A.G. Petrushin (SPA "Typhoon", Obninsk), Prof. E.F. Mikhailov (SPbSU, SPb), Prof. L.R. Dmitrieva (RHMC, Moscow), Dr. A. Smirnov (NASA/Goddard Space Flight Center, USA)

Экспедиционные исследования аэрозольной оптической толщины атмосферы в Приморье, Японском и Охотском морях

Сакерин С.М. (sms@iao.ru), Афонин С.В., Кабанов Д.М., Полькин В.В., Турчинович С.А.,
Энгель М.В.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

Expedition studies of the atmospheric aerosol optical depth in Primorye and the Seas of Japan and Okhotsk

Sakerin S.M., Afonin S.V., Kabanov D.M., Polkin V.V., Turchinovich S.A., Engel M.V.
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk

Дальневосточное Приморье с прилегающими морями отличается большой изменчивостью аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы. Это обусловлено многообразием аэрозоля, поступающего в регион: выносы пыли и антропогенного аэрозоля из Юго-Восточной Азии, дымов лесных пожаров и др. В докладе обсуждаются результаты экспедиционных исследований, проведенных в Приморье и с борта парусника "Надежда". В первой экспедиции (апрель–май 2009 г.) измерения осуществлялись в Японском море (Владивосток–Нагасаки–Пусан) и в п. Горнотаежное. Во второй экспедиции (август 2010 г.) – над Охотским морем (Сахалин–Курилы–Камчатка), во Владивостоке и Горнотаежном. В измерениях АОТ использовались солнечные фотометры SPM, SP-9 и радиометр CE 318 (AERONET).

К анализу результатов наземных наблюдений привлекались данные измерений АОТ спутниковой системой EOS/MODIS (Terra, Aqua) с пространственным разрешением 10 км, а также для более крупных тестовых районов, выделенных в Японском и Охотском морях. Для оценки влияния потенциальных источников выносов аэрозоля в район экспедиции дополнительно рассматривались данные о пожарной активности с сайта LP DAAC (https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/data_pool), данные о вулканической активности с сайта (<http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>) и др.

Результаты измерений 2009 г. показали, что весенняя атмосфера отличается примерно двукратным превышением АОТ в сравнении с другими районами умеренных широт. Повышенная мутность проявляется во всем диапазоне спектра за счет большего содержания мелко- и грубодисперсного аэрозоля. Средние АОТ (0.5 мкм) составили в Приморье 0.46, в Японском море – 0.35.

По данным исследований 2010 г. установлено, что АОТ в двух районах Приморья (Владивосток, Горнотаежное) изменяется согласованно и различие средних значений невелико (чуть выше во Владивостоке). Среднее АОТ над Охотским морем (0.113 в области 0.5 мкм) в два раза ниже, чем в Приморье. Общим для трех районов, являются близкие значения показателя селективности Ангстрема ($\alpha = 1-1.1$), которые свидетельствуют о

смешанном составе аэрозоля – промежуточном между чисто морским ($\alpha < 0.9$) и континентальным ($\alpha > 1.2$).

Из сравнения результатов двух экспедиций следует, что АОТ над Охотским морем в три раза ниже, чем над соседним Японским морем в весенний период. Такое различие обусловлено сезонным спадом содержания в атмосфере аэрозоля и периферийным положением Охотского моря к зоне основных выносов азиатского аэрозоля. Проводится сравнительный анализ вклада в АОТ мелко- и грубодисперсного аэрозоля. Максимальным вкладом мелкодисперсного аэрозоля отличаются весенние данные в Приморье и Японском море (чуть ниже летние значения). Грубодисперсная компонента АОТ в Японском море тоже значительна, но она в два раза меньше, чем в зоне сахарских пылевых выносов. Самая малая грубодисперсная компонента АОТ наблюдалась над Охотским морем (сопоставима с данными в Сибири).

При рассмотрении спутниковой информации в августе 2010 г. не было выявлено значимого влияния вулканической деятельности (в частности, извержения вулкана Шивелуч), пожарной активности и мощных выносов аэрозоля с континента, как это происходит во время песчаных бурь в пустынях Монголии, Китая. Спутниковые данные в выбранных тестовых районах подтвердили уменьшение АОТ с ростом широты с максимальными значениями в центральной части Японского моря. Локальная область повышенных значений АОТ вблизи Курил (2010 г.) пока не получила достоверного объяснения. Она могла быть следствием как ошибок фильтрации полупрозрачной облачности (cloud screening), так и вулканической деятельности. Сами извержения, как отмечалось выше, в период экспедиционных исследований не повлияли на АОТ, но постоянные паро-газовые выделения фумарол и сольфатар Курильских вулканов вполне могут приводить к увеличению содержания аэрозоля.

Совместный анализ результатов измерений во Владивостоке и спутниковых данных в тестовых районах показал, что с удалением от суши значения АОТ снижаются (на 40 %), а корреляция наблюдается только с близкорасположенным районом (залив Петра Великого).

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН № 75, проекта № 21.1 программы фундаментальных исследований Президиума РАН и Государственного контракта № 02.740.11.0674.

Обобщение теории Ми для несферических частиц

Фарафонов В.Г. (far@aanet.ru), Ильин В.Б., Винокуров А.А., Барканов С.В.
*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Бол. Морская 69, 190000 Санкт-Петербург, Россия*

Рассеяние света несферическими частицами представляет большой интерес в различных областях науки и техники, в том числе в физике атмосферы. В настоящее время наиболее эффективное решение рассматриваемой задачи, базирующееся на разложении полей по волновым функциям, может быть построено в рамках трех методов – разделения переменных (SVM), расширенных граничных условий (EBCM) и поточечной шивки (PMM) [1–3]. Ранее эти методы, которые следует рассматривать как обобщение теории Ми для шаров, изучались независимо друг от друга в силу значительных различий в формулировках постановки задачи. Действительно, при применении SVM неизвестные коэффициенты разложений определяются из граничных условий в дифференциальной форме (непрерывность тангенциальных составляющих на поверхности частицы), EBCM основывается на решении поверхностных интегральных уравнений, связанных с принципом Гюйгенса-Френеля, а при реализации PMM неотъемлемой частью решения является использование метода наименьших квадратов при удовлетворении граничных условий. С другой стороны, как и в теории Ми общим фундаментом для всех трех методов является использование одних и тех же разложений полей по волновым функциям и, как следствие,

одинаковых формул для расчета оптических характеристик. Таким образом, различия методов заключаются в способах определения неизвестных коэффициентов разложений полей, которые приводят к разным бесконечным алгебраическим системам для этих коэффициентов. На наш взгляд, большой интерес представляет анализ этих методов с целью выяснения их взаимосвязей и областей применимости.

В данной работе подобный анализ проведен с единых позиций в рамках подхода, предложенного при использовании сферического и сфероидального базиса [4, 5]. В настоящее время этот подход (SVM, EBCM) распространен на электростатические задачи, а затем было построено приближение Релея для несферических частиц. В частности, удалось получить достаточно простые формулы для конечных цилиндров, а также чебышевских сферических и сфероидальных частиц. Численные расчеты показывают вполне удовлетворительное согласие с результатами, полученными по строгим методам теории рассеяния.

1. Mishchenko, M.I., Hovenier J., Travis L.D. *Light Scattering by Nonspherical Particles*. San Diego: Academic Press, 2000.
2. Kahnert, F.M. Numerical methods in electromagnetic scattering theory. *J. Quant. Spectr. Rad. Transf.*, 2003, **79**, 775–824.
3. Farafonov, V.G., Il'in, V.B. Single light scattering: computational methods. In: *Light Scattering Reviews*, Kokhanovsky A. (ed), Berlin: Springer-Praxis, 2006, 125–177.
4. Фарафонов В.Г., Ильин В.Б., Винокуров А.А. Рассеяние света несферическими частицами в ближней и дальней зонах: применимость методов со сферическим базисом. *Оптика и спектроскопия*, 2010, **109**, 476–487.
5. Фарафонов В.Г. Рассеяние света осесимметричными частицами: единый подход с использованием сфероидальных функций. *Записки научных семинаров ПОМИ* («Математические вопросы теории распространения волн. 40»), , 2010, **380**, 132–178.

Оценка относительного объемного содержания мелкодисперсной фракции атмосферного аэрозоля по данным измерений спектральной прозрачности атмосферы

Свириденков М.А.¹ (misv@mail.ru), Чубарова Н.Е.² (chubarova@imp.kiae.ru)

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

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Ленинские горы, 119991 Москва, Россия

Восстановление микрофизических характеристик аэрозоля по данным измерений аэрозольной оптической толщины (АОТ) и яркости неба в солнечном альмукантарате является сложной и до конца не решенной проблемой. Прежде всего, ситуации, когда облачность не наблюдается во всем альмукантарате, достаточно редки, что резко ограничивает возможности мониторинга. Во-вторых, для получения информации о микроструктуре аэрозоля необходимо одновременно решать обратную задачу с *a priori* неизвестным ядром и уравнение переноса излучения с неизвестной индикатрисой рассеяния. Для измерения АОТ достаточно отсутствия облаков на диске солнца, что реализуется гораздо чаще.

В докладе анализируется возможность оценки соотношения между объемными содержаниями субмикронной и грубодисперсной фракции по измерениям только АОТ. Обычно спектральный ход АОТ аппроксимируется формулой Ангстрема. Формально, она вытекает из обратно-степенного распределения частиц по размерам, которое не может реализовываться во всем диапазоне размеров атмосферного аэрозоля. В реальности аэрозоль представляет собой суперпозицию нескольких фракций. В его оптические характеристики основной вклад вносят две – субмикронная и грубодисперсная. Наблюдаемый спектральный ход определяется в значительной мере соотношением их вкладов. Принято считать, что чем больше показатель Ангстрема A , тем меньше средний размер частиц. Однако корреляция между показателем Ангстрема и объемной долей субмикронной фракции невелика, так как в

зависимости от свойств субмикронного аэрозоля его оптическая толщина может иметь различный спектральный ход. Мы предлагаем дополнительно использовать информацию об изменении A с длиной волны, например, разность двух локальных показателей Ангстрема для диапазонов 340–500 нм и 500–870 нм. Другой возможный подход – анализ связи относительной объемной доли субмикронного аэрозоля с главными компонентами спектральных зависимостей АОТ.

В докладе на основе данных измерений на станциях сети AERONET в Звенигороде и Метеорологической обсерватории МГУ за 2007–2010 гг. (уровень 2) и результатов их обращения на сайте AERONET показано, что оба эти подхода позволяют более чем вдвое уменьшить дисперсию оценки объемной доли субмикронного аэрозоля.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Проект 10-05-01019).

Assessment of the relative volume content of fine fraction of atmospheric aerosol from spectral extinction measurements

Sviridenkov M.A.¹ (misv@mail.ru), Chubarova N.Ye.²

¹*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia*

²*Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, Russia*

Retrieval of the microphysical characteristics of aerosol from measurements of the aerosol optical thickness (AOT) and sky radiance in the solar almucantar is a complicated and not completely solved problem. First, situations when cloudiness is not observed throughout the almucantar are rare. That sharply limits the possibility of the aerosol monitoring. Secondly, to retrieve the aerosol microstructure, it is necessary to solve simultaneously the inverse problem with *a priori* unknown kernel functions and the radiative transfer equation with unknown phase function. To measure the AOT, the absence of clouds on the solar disk is sufficient, which occurs much more frequently.

In the present work, the possibility of the estimation of the relation between volume contents of submicron and coarse fractions by measuring the AOT only is analyzed. Usually, the spectral behavior of AOT is approximated by the Angstrom's formula. Formally, it follows from the inverse power law particle size distribution, which can not be implemented throughout the whole size range of the atmospheric aerosols. In reality, atmospheric aerosol is a superposition of several factions. Submicron and coarse fractions give the main contribution into its optical characteristics. The observed spectral dependence of AOT is largely determined by the ratio of their inputs. It is generally accepted that the higher values of the Angstrom's exponent A correspond to the smaller mean particle size. However, the correlation between the Angstrom's exponent and the volume fraction of submicron aerosol is low, since, depending on the properties of submicron aerosol, its optical thickness may have different spectral behavior. We propose to use additional information on changes in A with the wavelength, for example, the difference between the two local Angstrom's exponents for 340–500 nm and 500–870 nm spectral regions. Another possible approach is analysis of the relationships between the relative volume fraction of submicron aerosol and principle components of the spectral dependence of AOT.

In the presentation, based on measurements at two AERONET sites (Zvenigorod and Meteorological Observatory of Moscow State University) in 2007–2010 years (level 2.0) and the data on their inversion at the AERONET website, it is shown that both approaches allow more than two times diminish the variance of the estimates of the volume fraction of submicron aerosol.

This work was supported by RFBR (Project 10-05-01019).

Модельные оценки радиационно-значимых характеристик сажевого аэрозоля

Терпугова С.А. (swet@iao.ru), Полькин В.В., Панченко М.В., Козлов В.С.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

Model estimation of radiation-relevant parameters of aerosol containing black carbon

Terpugova S.A., Polkin V.V., Panchenko M.V., Kozlov V.S.
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk

Совершенствование радиационно-климатических моделей безоблачной атмосферы в значительной степени зависит от корректного задания рассеивающих и поглощающих характеристик атмосферного аэрозоля.

В работе представлены результаты моделирования радиационно-значимых параметров – спектральной оптической толщи атмосферы, альбедо однократного рассеяния и матрицы рассеяния, – при различных предположениях о присутствии сажи в частицах. За основу взята эмпирическая модель вертикального профиля аэрозольного коэффициента рассеяния [1]. Для моделирования поглощающих свойств аэрозоля использовались данные о высотном распределении массовой концентрации поглощающего вещества (сажи) [2], полученные при самолетных измерениях в 1997–2009 гг.

Известно, что поглощение частицами зависит не только от абсолютных значений содержания сажи, но и от того, в каком виде она присутствует в аэрозоле – существует ли в виде отдельной фракции, или же в виде внутренней примеси. Сначала аэрозоль моделировался в виде суммы трех логнормальных фракций с использованием эмпирической микроструктурной модели [3]. Частицы предполагались непоглощающими, с показателем преломления $n = 1.5$. Параметры фракций (медианный радиус, полуширина распределения и объемная концентрация фракции) для указанного набора высот подбирались таким образом, чтобы рассчитанный по теории Ми суммарный по всем фракциям коэффициент направленного рассеяния на длине волны 0.51 мкм совпадал со среднесезонным значением [1] для данной высоты.

Далее проводились модельные оценки комплексного показателя преломления при различных предположениях о содержании сажи в аэрозоле. Рассматривались 3 гипотезы: 1) внешняя смесь, 2) внутренняя смесь и 3) экспоненциальный спад относительной объемной концентрации «сажевых» частиц с ростом размера [4].

1) К непоглощающему аэрозолю добавлялась сажа с показателем преломления $n = 1.8 - 0.74i$ в виде отдельной узкой логнормальной фракции с медианным радиусом 0.12 мкм [5]. Объем сажевой фракции подбирался таким образом, чтобы относительная массовая концентрация на каждой высоте совпадала с экспериментальным среднесезонным значением.

2) Предполагалось, что сажа равномерно распределена внутри аэрозольных частиц. Оптические константы такой среды определялись по известному правилу смеси.

3) Также предполагалось, что сажа равномерно распределена внутри аэрозольных частиц, но ее относительное содержание различно для разных фракций аэрозольных частиц, в соответствии с данными [4].

Затем полученные значения действительной и мнимой части показателя преломления сухого аэрозоля приводились к реальным значениям относительной влажности, в качестве которых использовались среднесезонные значения на соответствующих высотах, полученные в ходе самолетного зондирования [1]. Значения параметра конденсационной активности также брались из данных самолетного эксперимента.

На заключительном этапе проводится расчет компонент матрицы рассеяния, альбедо однократного рассеяния и аэрозольной оптической спектральной толщи, характерных для Западной Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ОНЗ РАН №11.1, Минобрнауки РФ (госконтракт № 14.740.11.0204 и 02.740.11.0674) и гранта РФФИ № 10-05-00162.

1. Панченко М.В., Терпугова С.А. Годовой ход содержания субмикронного аэрозоля в тропосфере над Западной Сибирью. *Оптика атмосферы и океана*, 1994, 7, 8, 1033–1044.
2. Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Панченко М.В. Сезонная изменчивость вертикальных профилей поглощающих характеристик субмикронного аэрозоля в тропосфере. *Оптика атмосферы и океана*, 2009, 22, 7, 635–642.
3. Панченко М.В., Терпугова С.А., Полькин В.В. Эмпирическая модель оптических характеристик аэрозоля нижней тропосферы. *Оптика атмосферы и океана*, 1998, 11, 6, 615–624.
4. Hitznerberger R., S. Tohno. Comparison of black carbon (BC) aerosols in two urban areas - concentrations and size distributions. *Atmospheric Environment*. 2001. 35, 2153–2167.

Восстановление радиационных параметров и микроструктуры аэрозоля в летних условиях Западной Сибири по данным фотометрии дневного безоблачного неба

Бедарева Т.В.¹ (btv@iao.ru), Журавлева Т.Б.¹ (ztb@iao.ru), Свириденков М.А.² (misv@mail.ru)

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

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

Для оценки и моделирования радиационно-климатических эффектов аэрозоля необходимо располагать информацией об аэрозольной оптической толщине (АОТ), альбедо однократного рассеяния (АОР) и индикатрисе рассеяния. Непосредственно может быть измерена только АОТ для определенного набора длин волн. Для определения АОР и характеристик индикатрисы рассеяния необходимо решать уравнение переноса излучения и обратные задачи светорассеяния.

По данным многолетних спутниковых и наземных наблюдений центральная часть Западной Сибири характеризуется сравнительно невысокими АОТ (типичное значение АОТ(500 нм) порядка 0.15). Стандартная методика AERONET [1] накладывает ограничение $АОТ(440\text{ нм}) > 0.4$ для восстановления АОР, что обуславливает необходимость развития других подходов. В докладе представлены результаты апробации двух разработанных нами ранее методов [2, 3] восстановления отнесенных ко всему столбу атмосферы оптических и микрофизических характеристик аэрозоля по данным измерений, полученных с помощью установленного в г. Томске солнечного фотометра CIMEL CE-318 (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>).

Суть первого метода состоит в выделении однократно рассеянного излучения из наблюдаемой яркости неба на основе итерационного процесса, который обрывается при достижении разностью между измеренной и рассчитанной яркостью неба некоторого порогового значения [2]. Его преимуществом является возможность восстановления индикатрисы однократного рассеяния и АОР при невысоких значениях АОТ и без каких-либо предположений о форме частиц. Во втором методе [3] для ускорения сходимости в качестве начального приближения используются аэрозольные индикатрисы рассеяния, рассчитанные по «синтетическому» распределению частиц по размерам, скомпонованному из результатов раздельного обращения АОТ (субмикронная фракция) и малоугловых индикатрис яркости без поправок на кратное рассеяние (грубодисперсная фракция). После восстановления характеристик однократного рассеяния решается линейная обратная задача.

Для анализа были отобраны данные измерений в летние периоды 2003–2009 гг., удовлетворяющие ряду критериев: в течение всего дня балл облачности составлял менее 2 баллов; относительное различие яркости неба B на одинаковом угловом расстоянии от Солнца в плоскости альмукантарата не превосходило 10 %; различие $B(6\text{ градусов})$ в двух каналах фотометра не превосходило 5 % и т.д. Основное внимание уделялось ситуациям с низкой замутненностью. Полученные результаты восстановления оптических и микрофизических характеристик аэрозоля сопоставлены как между собой, так и с

известными моделями аэрозоля (WCP, OPAC) и данными AERONET уровня 1.5, восстановленными по методике [1].

Авторы выражают благодарность М.В. Панченко и С.М. Сакерину за предоставленные материалы Томской станции сети AERONET. Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 09-05-00961 и № 10-05-01019), программы ОНЗ 11.1. РАН и Минобрнауки РФ (госконтракт № 02.740.11.0674).

1. Dubovik O., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.*, 2000, 105, D16, 20673–20696.
2. Бедарева Т.В., Журавлева Т.Б. Восстановление индикатрисы и альbedo однократного рассеяния аэрозоля по данным радиационных измерений в альмукантарате Солнца: численное моделирование. *Оптика атмосферы и океана*, 2011, 24, 2, 128–138.
3. Sviridenkov M. Simplified techniques for retrieving aerosol characteristics from extinction and sky radiance measurements. Abstracts of the Conference on Visibility, Aerosols, and Atmospheric Optics, Vienna, September 2006, 85–86.

Retrieval of aerosol radiative parameters and microstructure from clear-sky daytime photometric measurements under summer conditions of West Siberia

Bedareva T.V.¹, Zhuravleva T.B.¹, Sviridenkov M.A.²

¹V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Academician Zuev sqr., 1, 634021 Tomsk, Russia

²A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky 3, 119017 Moscow, Russia

The assessment and the modeling of radiative and climate effects of aerosol require information about aerosol optical depth (AOD), single scattering albedo (SSA) and scattering phase function. Among these parameters only the AOD is measured directly for the certain set of wavelengths. The solution of the radiative transfer equation and the inverse problems of light scattering is necessary for the estimation of the SSA and the characteristics of the scattering phase function.

The centre of West Siberia is characterized by the relatively low AODs (the typical value is 0.15 at 500 nm) according to long-term satellite and ground-based observations. The standard technique of AERONET [1] requires the AOD to be higher than 0.4 at 440 nm for the SSA retrieval, thus causing the necessity for development of other approaches. In the work we present the validation results of the earlier developed methods of the retrieval of the aerosol optical and microphysical characteristics in the total atmospheric column [2, 3] from the data of sun-sky photometer measurements (CIMEL CE-318) at the Tomsk station (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>).

The main idea of the first method consists in the separation of the single scattering component from measured sky radiance on the basis of iterative process that terminates when the difference between the measured and the calculated radiance become less than a threshold value [2]. The advantage of the method is possibility of the scattering phase function and the SSA retrieval under the low AOD and the absence of assumptions of the particle shape. To increase the rate of convergence of the iterative process in the second method [3] the initial scattering phase function is chosen on the basis of aerosol “synthetic” size distribution obtained from the results of separate inversions of the AOD (fine mode) and small-angle scattering without taking multiple scattering into account (coarse mode). After the retrieval of the single scattering characteristics the linear inverse problem is solved.

For the analysis we selected summer measurements from 2003 to 2009 which met the set of criteria: cloud fraction must be less than 0.2 all through the day, the relative difference of sky radiance B at equal angular distance from the Sun in the solar almucantar mustn't exceed 10%, the difference of B at 6 deg. in Sun and Sky channels mustn't exceed 5 % and so on. We are focused upon the situations with low turbidity. Obtained results of the retrieval of the aerosol optical and microphysical characteristics are compared both against each other and with known aerosol models (WCP, OPAC) and a Level 1.5 AERONET data product retrieved by the method [1].

Authors thank M.V. Panchenko and S.M. Sakerin for the possibility to use the data of the Tomsk AERONET site. This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research under grants № 09-05-00961 and № 10-05-01019, Program 11.1 of Department of Earth Sciences, Russian Academy of Sciences and the State contract № 02.740.11.0674.

1. Dubovik O., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.*, 2000, **105**, D16, 20673–20696.
2. Bedareva T.V., Zhuravleva T.B. Retrieval of the aerosol phase function and single scattering albedo from radiation measurement data in the solar almucantar: numerical simulation. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2011, 4 (in print).
3. Sviridenkov M. Simplified techniques for retrieving aerosol characteristics from extinction and sky radiance measurements. Abstracts of the Conference on Visibility, Aerosols, and Atmospheric Optics, Vienna, September 2006, 85–86.

Оптические и физические свойства аэрозоля при дальних переносах загрязнения на центральный Тянь-Шань

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

Киргизско-Российский Славянский Университет, Лидарная станция Теплоключенка, ул. Киевская 44, ком. 1/012, 720000, Бишкек, республика Киргизия

Физические и оптические свойства пыли и антропогенного загрязнения при их трансграничном и дальнем переносе были непрерывно измерены с июня 2008 по май 2009 гг. на двух измерительных точках в Центральном Тянь-Шане, отстоящих друг от друга более чем на 300 км.

Источники и пути переноса антропогенного загрязнения и пыли исследованы на основе анализа обратных траекторий воздушных масс по Hysplit и по модели NAAPS с привлечением данных о циркуляционных процессах, протекающих в период эксперимента. Для анализа зависимости оптических свойств от типа аэрозоля привлечены данные спутниковой информации.

В течение периодов трансграничного переноса (ТТР) наблюдались высокие коэффициенты $PM_{2.5} / PM_{10} > 55 \%$, то есть при ТТР наблюдался в основном мелкодисперсный аэрозоль антропогенного происхождения в виде сульфатов (среднее отношение массового коэффициента $PM_{2.5} / PM_{10}$ составляет 67.5 %). Средняя аэрозольная оптическая толщина (АОТ) при ТТР дает величину $\langle AOT \rangle = 0.133 \pm 0.02$. Параметр Ангстрема для различных пар длин волн A340/500, A500/675, A675/870 и средний параметр Ангстрема LA равны 0.473 ± 0.059 , 0.838 ± 0.096 , 0.493 ± 0.147 и 0.616 ± 0.074 , соответственно. Высокие значения всех параметров Ангстрема подтверждают тот факт, что аэрозоль ТТР содержит большое количество частиц мелкодисперсной фракции антропогенного происхождения. Эти данные хорошо согласуются с данными для антропогенного аэрозоля Восточной Европы и Китая.

При дальнем переносе (ЛТР) $PM_{2.5} / PM_{10}$ находится в пределах 42–55 %, когда наблюдались в основном мелкодисперсные частицы. При таких переносах, как правило, аэрозоль состоит в среднем из мелких (антропогенный аэрозоль) и крупных частиц, преимущественно минерального пылевого происхождения. АОТ меняется от 0.08 (зимой) до 0.71 в весенний период, когда чаще всего наблюдается вынос пыли. Средняя $\langle AOT \rangle = 0.254 \pm 0.06$.

Региональный перенос (РТР), как и в случае Азиатской пыли, можно классифицировать низким уровнем $PM_{2.5} / PM_{10} < \sim 0.42$, то есть в составе аэрозоля преобладают крупнодисперсные пылевые частицы. Как и в случае ЛТР, региональный вынос характеризуется величиной $\langle AOT \rangle = 0.254 \pm 0.06$. В то же время при РТР, в отличие от ЛТР (хотя средние АОТ не отличаются), значения параметров Ангстрема (0.370 ± 0.113 , 0.645 ± 0.143 , 0.259 ± 0.179 и 0.332 ± 0.107) указывают на большее содержание частиц мелкой фракции. При этом на длинноволновой паре параметр Ангстрема A675/870 в

весенний период принимает отрицательные значения, что говорит о существенном превалировании крупнодисперсного пылевого аэрозоля в этот период.

Результаты анализа могут быть полезны для исследований регионального качества воздуха и аэрозольных эффектов на изменение климата.

Работа выполнена при поддержке проектов Международного научно-технического центра (МНТЦ) #3715 и #KR-1522.

Optical and physical properties of aerosol at long-range transport of pollution on Central Tien Shan

Chen B.B. (lidar@istc.kg), Imashev S.A., Sverdlik L.G.

Kyrgyz-Russian Slavic University, Lidar Station Teplokluchenka, Kievskaya str. 44, 720000 Bishkek, Kyrgyzstan

Physical and optical properties of dust and anthropogenic pollution at their transboundary and long-range transport were continuously measured from June 2008 till May 2009 at two measurement sites in Central Tien-Shan, which are more than 300 km apart from each other.

Sources and ways of anthropogenic pollution and dust transport are studied on the basis of analysis of Hysplit backward trajectories of air masses and NAAPS model with involvement of data about circulation processes during the period of experiment. Satellite information is involved for the analysis of dependence of optical properties from aerosol type.

High values of $PM_{2.5} / PM_{10} > 55 \%$, were observed during the periods of transboundary transport (TTP), i.e. the fine aerosol of anthropogenic origin in the form of sulphates (average mass coefficient ratio $PM_{2.5} / PM_{10}$ was 67.5 %) was mainly observed at TTP. The average aerosol optical thickness (AOT) at TTP gives values of $\langle AOT \rangle = 0.133 \pm 0.02$. Angstrom parameter for various pairs of wavelengths A340/500, A500/675, A675/870 and average Angstrom parameter LA are equal to 0.473 ± 0.059 , 0.838 ± 0.096 , 0.493 ± 0.147 and 0.616 ± 0.074 , respectively. High values of all Angstrom parameters confirm that fact, that TTP aerosol contains a large number of fine particles of anthropogenic origin. These data are in good agreement with the data for anthropogenic aerosol of the East Europe and China.

At long-range transport (LTP) the values of $PM_{2.5} / PM_{10}$ were in range of 42–55 % when fine particles are mainly observed. At such transport, as a rule, the aerosol consists mainly of fine (anthropogenic aerosol) and large particles of mainly mineral dust origin. Value of AOT varies from 0.08 (winter) to 0.71 in spring period when there is often take place transport of dust. Average $\langle AOT \rangle$ is equal to 0.254 ± 0.06 .

Regional transport (RTP), as well as in the case of the Asian dust can be classified by a low level of $PM_{2.5} / PM_{10} < \sim 0.42$, i.e. there is prevalence of coarse dust particles in aerosol composition. As well as in the case of LTP, the regional transport is characterized by values of $\langle AOT \rangle$ equal to 0.254 ± 0.06 . At the same time during RTP unlike LTP (though average values of AOT do not differ), values of Angstrom parameters (0.370 ± 0.113 , 0.645 ± 0.143 , 0.259 ± 0.179 and 0.332 ± 0.107) indicate to greater concentration of fine fraction particles. And long-wave Angstrom parameter A675/870 during the spring period has negative values indicating to essential prevalence of coarse dust aerosol during this period.

Results of the analysis can be helpful at study of regional air quality and aerosol effects on climate change.

Work is carried out under financial support of International Scientific and Technical Center (ISTC) projects #3715 and #KR-1522.

Effects of clouds on earth-like planetary thermal emission spectra at high resolution

Vasquez Mayte¹ (mayte.vazquez@dlr.de), Kitzmann Daniel², Patzer A.B.C.², Rauer Heike¹,
Schreier Franz¹, Trautmann Thomas¹

¹German Aerospace Center (DLR), Remote Sensing Technology Institute, Oberpfaffenhofen, Germany

²Zentrum für Astronomie und Astrophysik, TU Berlin, Berlin, Germany

Clouds have an impact on the radiative transfer in planetary atmospheres by changing the planetary spectra (intensities and shapes) due to extinction events. Thereby, they influence the atmospheric and surface temperatures and can also generate false negative biomarker signatures.

The effects of the presence of clouds in Earth-like planetary atmosphere are studied and compared using high and low resolution radiative transfer models. Accurate high resolution spectra are modeled using a combination of a line-by-line (lbl) molecular absorption code with a multiple scattering radiative transfer solver. Special emphasis is taken at regions of the infrared spectrum where bio-signatures may be present. Temperature profiles and low resolution spectra for Earth-like planets around different types of central stars are calculated using a radiative-convective climate model with a parameterized cloud description [1].

The new lbl-multiple scattering code was tested successfully with respect to consistency to the low resolution radiative transfer code. The dependency of biomarker signatures on the presence of low-level water and high-level ice clouds have been analyzed, e.g. the thermal infrared band of ozone at 9.6 micrometer.

Our first results indicate the important impact of clouds on the detectability of biomarker molecules by dampening their spectral signatures. Furthermore, biosignatures may be lost in low resolution spectra leading to false negative classification, i.e. high resolution lbl modeling is mandatory for an assessment of detection feasibility. Hence systematic high resolution studies will be pursued covering other spectral ranges of interest (other biomolecules).

1. Kitzmann D., A.B.C. Patzer, P. von Paris et al. Clouds in the atmospheres of extrasolar planets - I. Climatic effects of multi-layered clouds for Earth-like planets and implications for habitable zones. *A&A*, 2010, **511**, A66, DOI 10.1051/0004-6361/200913491/

Сопоставление оптических характеристик воздушных бассейнов Пекина и Москвы в периоды экстремально замутненной атмосферы

Емиленко А.С.¹ (emilas@list.ru), Исаков А.А.¹, Ван Генчен² (wgc@mail.iap.ac.cn)

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

²Институт физики атмосферы КАН, Пекин, Китай

Экстремально жаркое лето 2010 года на Европейской территории России привело к огромным человеческим и экономическим потерям. Наиболее сильное воздействие на жителей Московского региона оказали продолжительные высокие температуры и резкое ухудшение качества воздушной среды, особенно в период времени с 6 по 9 августа.

В докладе представлены результаты сравнения уровней, продолжительности и повторяемости экстремального состояния замутненности атмосферы для Пекина и Москвы. Сравниваются результаты измерений, которые проводились на Звенигородской научной станции ИФА РАН (ЗНС) с помощью спектрополяриметра ФАН с аналогичными результатами измерений, проводимыми в Пекине. Рассматриваются спектральные зависимости коэффициента направленного светорассеяния под углом рассеяния 45° и степени линейной поляризации под углом рассеяния 90° в период интенсивного задымления атмосферы Московского региона в 2002 и 2010 годах. Для сравнения представлены результаты четырнадцати лет измерений оптических характеристик аэрозоля в регионе города Пекин. Рассмотрено более 60 случаев экстремального замутнения. Наиболее продолжительные и мощные смог за все время измерений в Пекине были зафиксированы в период с 3 по 9 ноября 2009 года и с 5 по 10 октября 2010 года. Проведено сравнение этих

смогов с задымленной атмосферой в Подмоскowie. Максимальные разовая, среднечасовая и среднесуточная концентрации, которые зарегистрированы на ЗНС 7 августа 2010 г. существенно превышают уровни концентрации аэрозоля, которые наблюдались в Пекине, и являются рекордными. Кроме этого, в Подмоскowie, впервые в практике наших натурных измерений, наблюдались отрицательные значения степени линейной поляризации. Вместе с тем, продолжительность наиболее мощной смоговой ситуации была в Москве 56 часов, в то время, как в Пекине длительность непрерывного превышения экстремальных уровней и в 2009 и в 2010 гг. почти 5 суток.

Сопоставление данных о концентрации примесей в приземном воздухе двух мегаполисов позволяет уточнить механизмы накопления примесей и их удаления из воздушного бассейна города. Высокие уровни аэрозольного загрязнения, как в Пекине, так и в Москве, обусловлены внешними источниками. Экстремально высокие концентрации примесей формируются на обширной территории вне мегаполиса. Характер временной изменчивости указывает на различные масштабы источника замутнения. В Москве – это торфяники и лесные пожары на расстоянии 150–300 км от Москвы. В Пекине – это результат антропогенной деятельности на большой территории плодородной и плотно заселенной Великой Китайской равнины.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 10-05-01019-а).

Comparison of aerosol optical characteristics in air basins of Moscow and Beijing during periods of extremely turbidized atmosphere

Emilenko A.S.¹, Isakov A.A.¹, Wang Gengchen²

¹*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS, Moscow, Russia*

²*Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing, China*

Extremely hot summer of 2010 at the European part of Russia has led to enormous human and economic losses. Prolonged periods of high temperatures and abrupt deterioration in air quality, especially in the period from August 6 to 9, strongly affected people in Moscow region.

In the present work, the results of comparison of levels, duration and frequency of extreme conditions of atmospheric turbidity in Beijing and Moscow region are analyzed. The data of measurements carried out at Zvenigorod Scientific Station of IAP RAS (ZSS) by means of spectropolarimeter PhAN are compared with similar measurements conducted in Beijing. The spectral dependences of the angular scattering coefficient at the scattering angle of 45° and the degree of linear polarization at the scattering angle of 90° in periods of intensive smoke haze in the atmosphere of the Moscow region in 2002 and 2010 are considered. To compare, the results of fourteen years of measurements of the optical characteristics of aerosol in the region of Beijing are considered. Over 60 cases of extreme turbidity are analyzed. The most prolonged and strong smog for all the period of measurements in Beijing has been recorded from November 3 to 9, 2009 and from October 5 to 10, 2010. We compared characteristics of these smog situations with smoky atmosphere in Moscow region. The maximum single, hourly and daily average concentrations, which are registered at ZSS on August 7, 2010, substantially exceeded the levels of aerosol concentration observed in Beijing and are record values. Furthermore, for the first time in our field measurements, the negative values of the degree of linear polarization were observed in Moscow region. However, the duration of the strongest smoky situation was 56 hours in Moscow, while in Beijing; the duration of the continuous excess of extreme levels was almost 5 days, both in 2009 and 2010.

Comparison of impurity concentrations in near-surface air of two megalopolises allows specifying the mechanisms of accumulation of impurities and their removal from the air basin of the city. High levels of aerosol pollution both in Beijing and Moscow are due to the external sources. Extremely high concentrations of admixtures are formed over a wide area outside the city. The manner of their temporal variability indicates the different scales of the sources of turbidity. In Moscow they are the peatbog and forest fires at a distance of 150–300 km from Moscow. In

Beijing, this is the result of human activities over large areas of fertile and densely populated the North China Plain.

The work was partially supported by RFBR (Project 10-05-010190).

Содержание сажевого аэрозоля в воздушном бассейне г. Москвы во время пожаров в сентябре 2002 г. и августе 2010 г.

Копейкин В.М.¹ (kopeikin@ifaran.ru), Пономарева Т.Я.²

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

²Гидрометцентр России, Бол. Предтеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия

The content of soot aerosol in the air pool in Moscow during the fires in September 2002 and August 2010

Kopeikin V.M.¹, Ponomareva T.Ya.²

¹Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

²Russian Hydrometeorological Center of Russia, Moscow, Russia

Крупномасштабное задымление атмосферы во время лесо-торфяных пожаров на территории Европейской части Российской Федерации летом 2010 г. привело к значительному ухудшению экологической обстановки и радикальному изменению радиационного режима атмосферы на больших территориях, включая Московский регион. Для получения надежных количественных оценок радиационно-климатических и экологических эффектов аэрозольной составляющей дымов необходимо проведение комплексных измерений оптических характеристик аэрозоля.

Задачей настоящей работы является измерение массовой концентрации сажевого аэрозоля в г. Москве. Отбор аэрозольных проб на фильтры (от 3 до 5 часов) проводился в центре города на территории института физики атмосферы РАН (ул. Б. Ордынка) в дневное время суток в рабочие дни недели 29 июля–23 августа 2010 года. Концентрация сажи изменялась в диапазоне 2–22 мкг/м³ с максимумом концентрации сажи 6 августа. Преобладающее число значений концентрации сажи находилось в интервале 4–9 кг/м³. Приблизительно в таких же пределах варьирует концентрация сажи в Москве в августе в 2000–2009 годах. Мощное загрязнение сажей длилось 4 суток (6–9 августа). Во время пожаров 16–20 сентября 2002 года концентрация сажи изменялась в диапазоне 0.8–16.5 мкг/м³ с максимумом концентрации сажи 17 сентября. При этом преобладающее число значений концентрации сажи находилось в интервале 2.1–5.2 мкг/м³ [1]. Продолжительность сильного загрязнения сажей 17 сентября составляла 14 часов.

Состояние атмосферы в первой половине августа 2010 года, по данным Гидрометцентра, определял устойчивый антициклон, располагавшийся в центре европейской части России. Анализ обратных 1-суточных траекторий переноса воздушных масс на уровне 925 мб показал, что наибольшее повышение содержания сажевого аэрозоля в г. Москве наблюдалось с приходом воздуха с юго-восточного направления, где в это время существовали очаги пожаров (6–9 августа). 3, 4, 10 и 6, 9 августа траектории переноса воздушных масс проходят в области между Тулой и Рязанью, указывая источники дымов от происходивших там лесных пожаров. 13 августа, возможно, источниками дымов являются районы вблизи Шатуры и Нижнего Новгорода. 16–20 сентября 2002 года источниками загрязнения г. Москвы сажей являлись зоны горения торфяников, т.к. в этот период максимум концентрации сажи наблюдался при переносе воздушных масс от Шатуры.

На основе полученных данных наблюдений можно сделать следующие выводы: 1. Максимальная концентрация сажи в г. Москве во время лесных пожаров и горения торфяников 6–9 августа 2010 года сопоставима с максимальным содержанием сажи в атмосфере г. Москвы 17 сентября 2002 года. 2. Продолжительность мощного загрязнения сажей воздушного бассейна г. Москвы составляло в августе 2010 году за счет существования

устойчивого антициклона в Европейской части России 4 суток, в отличие от длительности загрязнения атмосферы г. Москвы сажей в 14 часов 17 сентября 2002 года, когда атмосферные процессы развивались более динамично.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 10-05-01019.

1. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А. и др. Исследование состава задымленной атмосферы г. Москвы во время пожаров торфяников летом-осенью 2002 г. *Докл. АН*, 2003, **390**, 2, 251–254.

Радиационные и температурные эффекты дымового аэрозоля при пожарах в Московском регионе летом 2010 г.

Горчакова И.А. (Gorchakova@ifaran.ru), Мохов И.И. (Mokhov@ifaran.ru)

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

По данным измерений оптических толщин дымового аэрозоля на наземной станции Aeronet (55° N, 36° E) на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова получены количественные оценки коротковолнового аэрозольного радиационного форсинга на границах атмосферы и изменения температуры приповерхностного слоя толщиной 10 метров, вызванного дымовым аэрозолем вследствие дополнительного ослабления приходящего солнечного излучения. На основе анализа данных измерений на Звенигородской и Московской станциях (55° N, 37° E) Aeronet в качестве величин альbedo однократного рассеяния и фактора асимметрии аэрозоля при определении оценок вышеуказанных эффектов дымового аэрозоля используются результаты решения обратной задачи, соответствующие уровню 1.5, с применением данных измерений на Московской станции Aeronet.

С 20 июля по 18 августа практически непрерывно наблюдалось сильное задымление атмосферы. Наиболее задымленные дни – это 7, 8, 9 августа. Величины оптических толщин аэрозоля, интерполированные на длину волны 550 нм, 7 августа варьировали в диапазоне от 1.73 до 4.40, 8 августа – от 1.83 до 3.96 и 9 августа – от 1.20 до 3.60. В этот период величины альbedo однократного рассеяния аэрозоля изменялись в пределах от 0.95 до 0.96, а фактора асимметрии от 0.69 до 0.70 на длине волны 550 нм. Максимальные абсолютные величины коротковолнового аэрозольного радиационного форсинга составили на поверхности 350 Вт/м², на верхней границе атмосферы – 120 Вт/м². Приповерхностное охлаждение за дневное время суток в среднем составило 6° C.

Метод флюид-локации атмосферы для анализа средних полей концентраций аэрозоля

Наговицына Е.С. (EkaterinaN@ecko.uran.ru), Поддубный В.А.

Институт промышленной экологии УрО РАН, ул. Софьи Ковалевской 20, 620219 Екатеринбург, Россия

Методы статистики обратных траекторий (COT) предназначены для идентификации распределения источников загрязняющих компонентов и основаны на совместном анализе данных результатов измерения концентрации примесей в одной или нескольких точках мониторинга и набора обратных траекторий движения воздуха (лагранжевых частиц), прибывающих в точку наблюдения в соответствующий момент времени. Как правило, для согласования пространственного среднего поля концентраций загрязнителя и распределения концентраций вдоль траекторий движения воздушных частиц в методах COT используются статистические процедуры усреднения и сглаживания.

Основная идея предложенного метода флюид-локации атмосферы (ФЛА) заключается в проведении такого согласования не на основе интуитивных статистических процедур, а на основе использования уравнения сохранения для примеси в представлениях Эйлера и Лагранжа. Введение в алгоритм метода ФЛА этапов решения балансового уравнения

позволяет развить предложенную методику в направлении учета реальных физико-химических процессов, которые происходят с примесью в атмосфере. Одним из таких процессов является сухое осаждение аэрозольных частиц на подстилающую поверхность. Процесс сухого осаждения зависит от уровня атмосферной турбулентности, скорости молекулярной диффузии вещества в ламинарном подслое и физико-химических взаимодействий примесей с подстилающей поверхностью.

В данной работе в качестве исходной информации были использованы: а) обратные семисуточные траектории движения воздуха на нижней изобарической поверхности 950 ГПа (<http://croc.gsfc.nasa.gov/aeronet/>), которые представляют собой набор точек, характеризующих положение лагранжевой частицы в определенный момент времени; б) функции распределения аэрозольных частиц по размерам (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>), на основе которых восстанавливались объемные концентрации грубодисперсной и тонкодисперсной фракций атмосферного аэрозоля; в) метеорологические характеристики (давление, температура и др.) для расчета скоростей сухого осаждения (<http://www.esrl.noaa.gov/>).

Для численных расчетов были использованы данные измерений характеристик атмосферного аэрозоля за 2004–2009 гг., полученные в двух пунктах наблюдения глобальной системы мониторинга AERONET: Средний Урал – Коуровская астрономическая обсерватория в окрестности г. Екатеринбурга; Западная Сибирь – Институт оптики атмосферы, г. Томск. На основе моделирования методом ФЛА для двух независимых наборов результатов измерений, полученных в разных точках мониторинга, были рассчитаны средние поля концентраций аэрозоля, которые качественно хорошо согласуются между собой.

Работа выполнена при финансовой поддержке научного проекта 09-С-2-1011 по Программе УрО РАН «Фундаментальные научные исследования, выполняемые совместно с организациями СО РАН и ДВО РАН».

Исследования аэрозольной оптической толщи атмосферы на севере Восточной Сибири

Сакерин С.М.¹ (sms@iao.ru), Кабанов Д.М.¹, Терпугова С.А.¹, Holben B.², Smirnov A.², Sorokin M.², Кустов В.Ю.³, Николашкин С.В.⁴ (nikolashkin@ikfia.ysn.ru)

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

²NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA

³ГУ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга 38, Санкт-Петербург, Россия

⁴Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31, 677891 Якутск, Россия

Studies of the atmospheric aerosol optical depth in the north of Eastern Siberia

Sakerin S.M.¹, Kabanov D.M.¹, Terpugova S.A.¹, Holben B.², Smirnov A.², Sorokin M.², Kustov V.Yu.³, Nikolashkin S.V.⁴

¹V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

²NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, USA

³Arctic and Antarctic Scientific Research Institute, Saint Petersburg, Russia

⁴Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia

В последнее десятилетие возросло внимание к исследованиям радиационных характеристик аэрозоля в полярных районах. В настоящей работе обсуждаются результаты измерений аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в районе метеорологической обсерватории “Тикси” (71.6° с.ш., 128.9° в.д.), а также данные многолетних наблюдений в районе Якутска (61.7° с.ш., 129.4° в.д.). В измерениях АОТ использовались Sun-Sky

радиометр CE 318 (AERONET) [1] и портативный солнечный фотометр SPM [2] (Тикси, июнь 2010 г.), работающий в диапазоне спектра 0.34–2.14 мкм.

Анализ многолетних данных в Якутске показал, что общей тенденцией годового хода (в том числе в 2010 г.) является спад АОТ с февраля по ноябрь: в области 0.5 мкм от 0.176 до 0.08. Из-за низкого положения Солнца данные в декабре и январе отсутствуют. Поэтому можно полагать, что в эти месяцы происходит постепенный рост аэрозольного замутнения (накопление аэрозоля) до максимальных значений в феврале. Годовой ход показателя селективности Ангстрема α хорошо выражен: самые высокие значения (более 1.7) наблюдаются в июле, а минимальные (около 1) – в холодный период. В межгодовой изменчивости проявились волнообразные колебания АОТ: максимумы в 2006, 2008 гг. и минимумы в 2004, 2007 и 2010 гг.

В данных, полученных в районе Тикси, тоже прослеживается спад АОТ от лета к осени. Причем, в три месяца из пяти среднемесячные АОТ практически совпадают с аналогичными данными 2010 г. в Якутске. Отмечается высокая селективность спектрального хода АОТ в районе Тикси: за период измерений (июнь–октябрь) среднемесячные значения показателя α не опускались ниже 1.4, а максимальные наблюдались в июне. Например, по данным фотометра SPM, среднее значение α в июне составляет 1.8, а АОТ спадает от 0.16 в области 0.34 мкм до 0.02 в области 2.14 мкм. Низкие значения АОТ в ИК диапазоне свидетельствуют о малом содержании в атмосфере грубодисперсного аэрозоля (в июне поверхность, в основном, была еще покрыта снегом). В этих условиях относительно высокие значения АОТ в коротковолновой части спектра, по-видимому, были обусловлены переносами мелкодисперсного аэрозоля из соседних регионов.

Обсуждаются результаты сравнения спектральных зависимостей АОТ в Тикси в различные месяцы 2010 г. с многолетними данными в Якутске и на высокоширотных станциях AERONET в северном полушарии (Resolute, Barrow, Opal). В результатах сравнения прослеживается широтное убывание АОТ: максимальные значения в Якутске (0.13 в области 0.5 мкм) и самые низкие (~ 0.05) на станции Opal (80° с.ш.).

Выражаем благодарность сотрудникам Тиксинского филиала ЯУГМС, ААНИИ и ESRL NOAA (США) за помощь в организации измерений солнечными фотометрами в обсерватории Тикси. Работа выполнена при финансовой поддержке проектов № 21.1, 21.7 программы фундаментальных исследований Президиума РАН и Государственного контракта № 02.740.11.0674.

1. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I. et al. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Rem. Sens. Env.*, 1998, **66**, 1, 1–16.
2. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А. Портативный солнечный фотометр. *Приборы и техника эксперимента*, 2009, 2, 181–182.

Оценка вклада промышленного города в аэрозольную оптическую толщину атмосферы на примере г. Екатеринбурга

Лужецкая А.П.¹ (ann@ecko.uran.ru), Поддубный В.А.¹, Маркелов Ю.И.¹, Береснев С.А.², Горда С.Ю.², Сакерин С.М.³, Кабанов Д.М.³, Holben B.N.⁴, Smirnov A.V.⁴

¹Институт промышленной экологии УрО РАН, ул. Софьи Ковалевской 20, 620219 г. Екатеринбург, Россия

²Уральский федеральный университет, пр. Ленина 51, 620000 г. Екатеринбург, Россия

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

⁴Центр космических полетов Годдарда (GSFC/NASA), Code 614.4, Building 33, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771 USA

Представлен анализ результатов парных измерений аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы на Среднем Урале за 2010 г., выполненных с помощью многоканальных солнечных фотометров в фоновом и городском пунктах наблюдения. Фоновый пункт наблюдения находится в лесном массиве примерно в 65 км северо-западнее г. Екатеринбурга на территории Коуровской астрономической обсерватории, где в измерениях используется солнечный фотометр Cimel CE318, работающий в рамках программы AERONET

(<http://aeronet.fsfc.nasa.gov>). Второй (городской) пункт наблюдения расположен в центральной части г. Екатеринбурга на базе Института промышленной экологии УрО РАН, где измерения проводятся с помощью многоволнового солнечного фотометра типа SP-9, разработанного Институтом оптики атмосферы СО РАН, г. Томск. Общими для обоих приборов являются восемь спектральных каналов: 340, 380, 440, 500, 675, 870, 940, 1020 нм (канал 940 нм используется для определения влагосодержания атмосферы).

Для оценки вклада промышленного города в АОТ использовались результаты двух циклов измерений, производимых в период июль–октябрь 2010 г. Первый цикл включает результаты одновременных совместных измерений, выполненных двумя солнечными фотометрами, расположенными в одной точке – фоновом пункте наблюдения. Общее количество измерений составило 9147. Было установлено, что результаты измерений АОТ для длин волн 340, 380, 440, 500, 675, 870 нм статистически не различаются, а для длины волны 1020 нм и общего содержания паров воды определены поправки, которые обеспечивают согласованность измерений разных приборов.

Во втором цикле – измерения выполнялись одновременно в различных точках мониторинга «фон-город». Общее количество измерений составило 19762. Для этого цикла измерений было обнаружено статистически значимое различие между результатами фоновых и городских измерений: АОТ на всех длинах волн; вкладов тонко и грубодисперсного аэрозоля в АОТ; параметра Ангстрема. При этом наблюдается довольно сильная статистическая связь между АОТ в г. Екатеринбурге и Коуровской обсерватории: коэффициент корреляции составляет более 0.8. В городе наблюдались более высокие значения аэрозольной оптической толщи. Отличие АОТ составляет от 15 % в инфракрасном до 30 % в видимом и ультрафиолетовом спектральных диапазонах. Были также установлены существенные различия в величинах параметра Ангстрема. В условиях города он больше в среднем на 30 %. При этом общее влагосодержание практически одинаково в обоих пунктах.

Дополнительно были оценены зависимости величины обнаруженного различия значений атмосферной оптической толщи между городом и фоновым районом от ряда факторов окружающей среды: направления ветра, силы ветра, класса стабильности атмосферы, давления, соотношения тонко и грубодисперсной фракций аэрозоля в атмосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке научного проекта 09-С-2-1011 по Программе УрО РАН «Фундаментальные научные исследования, выполняемые совместно с организациями СО РАН и ДВО РАН».

Эмпирические связи между массовой концентрацией аэрозоля и оптической толщиной над центральным Тянь-Шанем

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

Киргизско-Российский Славянский Университет, Лидарная станция Теплоключенка, ул. Киевская 44, ком. 1/012, 720000, Бишкек, республика Киргизия

В докладе приводятся результаты статистического анализа отношения между массовой концентрацией PM_{2.5}, PM_c частиц и аэрозольной оптической толщиной (AOD) по данным измерения на двух экспериментальных точках Лидарной станции Теплоключенка, расположенных на северном Тянь-Шане в Центральной Азии, в период с июня 2008 по май 2009 г. с использованием солнечных фотометров Microtops II, измерительных систем TEOM/FDMS и пробоотборников URG-3000ABC. Результаты указывают, что при условии применения процедуры отбраковки данных оптических измерений, полученных в условиях облачной атмосферы, наблюдается удовлетворительная корреляция между среднесуточными значениями AOD и PM_{2.5} (PM_c). В зависимости от сезона коэффициент линейной корреляции изменялся от 0.56 до 0.87. Более высокие значения измеряемых параметров и коэффициента корреляции между ними получены в весенний и осенний периоды и

обусловлены присутствием в пределах пограничного слоя частиц Азиатской пыли. Приведены простые линейные отношения зависимости между AOD и PM_{2.5}.

Сезонные изменения массовой концентрации частиц PM_{2.5} показывают явное уменьшение с октября по февраль. Согласно градациям US EPA (Стандарта Качества Воздуха США NAAQS), этот период можно отнести к категории хорошего качества воздуха, означающей, что ежедневные значения массовой концентрации PM_{2.5} находятся в пределах 0–15.4 мкг/м³.

Остальное время года, за исключением нескольких случаев, можно отнести к категории **умеренного** качества (от 15.4 до 40.4 мкг/м³). Средние концентрации PM_{2.5} составили на *Bishkek_Site* и *LIDAR_Site* 15.22 ± 7.46 и 12.40 ± 7.36 мкг/м³ соответственно.

Выявленные отношения могут быть использованы для оценки качества воздуха за предшествующие годы, что позволит изучить динамику воздушного загрязнения в Центральной Азии, и для оценки воздействия загрязнения на здоровье.

Работа выполнена при поддержке проекта Международного научно-технического центра (МНТЦ) #3715.

Empirical relationship between aerosol mass concentration and aerosol optical depth over Northern Tien-Shan

Sverdlik L.G. (lidar@istc.kg), Chen B.B., Imashev S.A.

Kyrgyz-Russian Slavic University, Lidar Station Teplokluchenska, Kievskaya str. 44, 720000 Bishkek, Kyrgyzstan

Results of statistical analysis of the relation between the mass concentration of PM_{2.5}, PM_c particles and aerosol optical depth (AOD) according to measurements at two experimental points of Lidar Station Teplokluchenska, located in northern Tien-Shan in the Central Asia, during the period from June 2008 till May 2009 using the Microtops II sun photometers, TEOM/FDMS measuring systems and URG-3000ABC samplers are presented. Results show that at the application of rejection procedure of optical measurements data received in cloudy conditions, the satisfactory correlation between daily average values of AOD and PM_{2.5} (PM_c) is observed. Depending on a season the linear correlation coefficient varied from 0.56 up to 0.87. Higher values of measured parameters and correlation coefficient between them are received for spring and autumn and caused by the presence of Asian dust particles in the boundary layer. Simple linear relations between AOD and PM_{2.5} are presented.

Seasonal changes of PM_{2.5} mass concentration show the obvious decrease from October till February. According to gradation US EPA (Air Quality Standard of USA NAAQS), this period can be referred to a category of the high quality of air, meaning that daily values of PM_{2.5} mass concentration are in range of 0–15.4 мкг/м³.

The rest of the time of the year, except for several cases, is possible to refer to a category of epy moderate quality (from 15.4 up to 40.4 мкг/м³). Average concentrations of PM_{2.5} were equal at *Bishkek_Site* and *LIDAR_Site* to 15.22 ± 7.46 and 12.40 ± 7.36 мкг/м³ respectively.

The revealed relationships can be used for estimation of air quality for previous years that will allow studying dynamics of air pollution in the Central Asia, and for estimation of pollution influence on health.

Work is carried out under financial support of International Scientific and Technical Center (ISTC) project #3715.

Перенос загрязнения и вариации озона над центральным Тянь-Шанем

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

*Киргизско-Российский Славянский Университет, Лидарная станция Теплоключенка, ул. Киевская 44,
ком. 1/012, 720000, Бишкек, республика Киргизия*

Для выяснения вопроса о влиянии аэрозольного загрязнения на общее содержание озона (ОСО) введено понятие «коэффициент соответствия» (CF), который равен величине ОСО, приходящейся на единицу аэрозольной оптической толщины (AOD) на длине волны $\lambda = 340$ нм.

Выделены периоды переноса загрязнения с учетом типа переносимого аэрозоля, источника и циркуляционных процессов, с которыми связаны направления перемещения воздушных масс. В выделенных периодах были рассчитаны значения CF, оптические и физические параметры. В частности, это массовый коэффициент, численно равный отношению массовых концентраций ($PM_{2.5} / PM_{10}$), аэрозольная оптическая толщина на длине волны 500 нм (AOT500) и средний параметр Ангстрема (LA), вычисленный по четырем длинам волн 340, 500, 675 и 870 нм.

Установлено, что при трансграничном переносе загрязнения (ТТР) воздушная масса содержит большое количество частиц мелкодисперсной фракции антропогенного происхождения. Об этом свидетельствуют высокие значения параметра Ангстрема и коэффициента $PM_{2.5} / PM_{10} > 55 \%$, который показывает долю мелкодисперсных частиц в общей фракции. Основными источниками этих частиц, в основном сульфатов, являются Восточная Европа и Европейская часть России, Западная Сибирь и Восточный Казахстан. При этом наблюдаются меридиональные перемещения воздушных масс. В характерные периоды таких переносов (осенний и зимний сезоны) CF в среднем принимает значения около 2800 DU, в отдельных случаях достигая 4980 DU.

При дальнем переносе (ЛТР) аэрозоль, как правило, состоит в среднем из мелких (антропогенный аэрозоль) и крупных частиц, преимущественно минерального пылевого происхождения. Смешанный аэрозоль такого типа переносится в основном с ближневосточного направления (пустыни Ливии, Аравии, Иранского нагорья), смешиваясь в умеренных широтах с антропогенным аэрозолем трансграничного переноса. При этом наблюдается преимущественно широтное перемещение воздушных масс. Отношение массового коэффициента находится в пределах 42–55 %, а величина AOT500 меняется от 0.08 (зимой) до 0.71 в весенний период, когда чаще всего наблюдается вынос пыли преимущественно из пустынь. Более низкие (в 2–3 раза), по сравнению с трансграничным переносом, а иногда и отрицательные значения параметра Ангстрема свидетельствуют о наличии крупнодисперсных частиц. CF в эти периоды в среднем принимает значения, равные 2500 DU, изменяясь в диапазоне от 1030 DU во время весенней активности пыльных бурь до 4200 DU в зимний период, когда влияние оказывает также и трансграничный перенос.

Региональный перенос (РТР), как и в случае Азиатской пыли, характеризуется доминированием крупнодисперсных пылевых частиц ($PM_{2.5} / PM_{10} < \sim 0.42$). Основными источниками такого аэрозоля являются пустыня Такла-Макан и бассейн Аральского моря. CF в среднем равен 1630 DU, доходя в отдельных случаях до минимальных значений, достигающих 340 DU (в марте 2009 г.), когда осуществлялся преимущественно вынос пылевого аэрозоля.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта МНТЦ #KR-1522.

Pollution transport and ozone variations over the Central Tien-Shan

Imashev S.A. (lidar@istc.kg), Chen B. B., Sverdlik L.G.

Kyrgyz-Russian Slavic University, Lidar Station Teplokluchenka, Kievskaya str. 44, 720000 Bishkek, Kyrgyzstan

To find-out the influence of aerosol pollution on total ozone we introduce a concept «correspondence factor» (CF) which is equal to total ozone value per unit of aerosol optical depth (AOD) at $\lambda = 340$ nm.

Periods of pollution transport from various sources are allocated taking into account the type of transported aerosol, the source and circulation processes with which directions of air masses movement are connected. The values of CF, optical and physical parameters were calculated in these periods. In particular, it is the mass coefficient which is numerically equal to ratio of mass concentrations (PM_{2.5}/PM₁₀); aerosol optical thickness at 500 nm (AOD₅₀₀) and average Angstrom parameter (LA) calculated using four 340, 500, 675 and 870 nm wavelengths.

It is revealed that at transboundary transport of pollution (TTP) the air mass contains a considerable amount of fine fractions particles of anthropogenic origin. High values of Angstrom parameter and PM_{2.5} / PM₁₀ > 55 % which shows the contribution of fine particles into the total fraction testify to it. The basic sources of these particles, basically sulphates, are the Eastern Europe and the European part of Russia, Western Siberia and East Kazakhstan. And meridian northern movement of air masses is observed at this time. During the typical periods (autumn and winter seasons) of such events the CF on the average has the values near 2800 DU, in some cases reaching values of 4980 DU.

At long-range transport (LTP) the aerosol, as a rule, consists mainly from fine (anthropogenic aerosol) and coarse particles, mainly mineral dust origin. Mixed aerosol of this type is transported mainly from Near-Eastern direction (desert of Libya, Arabia, plateau of Iran), mixing up in moderate latitudes with the anthropogenic aerosol of the transboundary transport. In this case mainly latitudinal movement of air masses is observed. Mass coefficient ratio was in limits of 42–55 %, and value of AOT₅₀₀ changes from 0.08 (winter) up to 0.71 during spring period when dust carry out due to long-range transport mainly from deserts is observed. CF during the periods of these events on the average was equal to 2500 DU, changing in a range from 1030 DU during spring activity of dust storms up to 4200 DU during the winter period when there was also the influence of transboundary transport.

Regional transport (RTP), as well as in case of Asian dust is characterized by the domination of coarse dust particles (PM_{2.5} / PM₁₀ < ~ 0.42) in air mass. The basic sources of such aerosol are Takla-Makan desert and Aral Sea basin. CF was equal on the average to 1630 DU, reaching at some events the minimum value equal to 340 DU (in March 2009), when there was transport of mainly dust aerosol.

The work is carried out under financial support of ISTC project #KR-1522.

Effects of development of urban areas and increase of aerosols on meteorological parameters using MODIS data in Tehran

Mohammadiha A., Memarian M.H. (Memarian@yazduni.ac.ir), MirRokn S.M.

Department of Physics, University of Yazd, Yazd, Iran

In recent year, a big challenge has been caused by thermal islands of super cities. Increase of population in super cities coincides with increasing thermal islands. Many researches in this field and generation of atmospheric aerosols that affect radiation balance, climate change, atmospheric flows, carbon cycle, and meteorological parameters have been done.

At present research, using MODIS data, air pollution in Tehran city that is the biggest and the most populated city in Iran is investigated. Previous researches have showed that the topography of Tehran plays the main role in concentration of pollutions and increasing of aerosols in this city. To start, first, annual and monthly changes of aerosols are investigated. Using Aerosol Optical Depth

(AOD) of MODIS data from 2000 to 2010, monthly changes of aerosols are analyzed. Relation between AOD and radiation balance and also the relation between AOD and some meteorological parameters such as temperature and relative humidity are investigated. Our results show concentration of pollutions is high in center and east of Tehran that according to high measure of AOD. Therefore, increase of AOD can show changes in radiation balance in this area.

Аэрозольная оптическая толщина атмосферы в Дальневосточном регионе по многолетним данным AERONET и MODIS

Сакерин С.М.¹ (sms@iao.ru), Андреев С.Ю.¹, Бедарева Т.В.¹, Кабанов Д.М.¹,
Корниенко Г.И.² (kornienko@utl.ru), Holben B.³, Smirnov A.³

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

²Уссурийская астрофизическая обсерватория FEB РАН, 692533, п. Горнотажное, Приморский край,
Уссурийский район, Россия

³NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA

Atmospheric aerosol optical depth in Far East region according to multiyear AERONET and MODIS data

Sakerin S.M.¹, Andreev S.Yu.¹, Bedareva T.V.¹, Kabanov D.M.¹, Kornienko G.I.², Holben B.³,
Smirnov A.³

¹V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

²Ussuriisk Astrophysics Observatory FEB RAS, Gornotazhnoe, Primorsky Krai, Russia

³NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, USA

Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы в Дальневосточном регионе формируется под сложным влиянием переносов воздуха со стороны океана и соседних стран – промышленных, густонаселенных районов Китая, Кореи, Японии. В докладе обсуждаются сезонная изменчивость спектральных АОТ атмосферы, измеренных вблизи Уссурийска солнечным фотометром CE 318 сети AERONET (2004–2010 гг.), а также особенности пространственного распределения АОТ (0.55 мкм) по данным спутниковой системы EOS/MODIS (TERRA коллекция 5 и AQUA коллекция 5.1), полученным в период с 2001 по 2010 г. Для количественной оценки пространственной изменчивости были выделены несколько районов с квазиоднородным распределением аэрозольного замутнения – Забайкалье, Приморье, Японское и Охотское моря, которые сравнивались с данными в Восточном Китае и Западной Сибири.

Результаты наземных наблюдений с использованием солнечного фотометра Cimel CE 318 (AERONET) показали, что сезонная изменчивость аэрозольного замутнения в Приморье качественно аналогична многим районам умеренных широт, но отличается большими значениями АОТ и амплитудой годового хода: максимальные АОТ (0.5 мкм) наблюдаются в мае (0.38), минимальные – в октябре (0.15); показатель селективности Ангстрема α , в среднем, более высокий в теплый период.

Сопоставление многолетних наземных и спутниковых измерений АОТ показало достаточное согласие данных. Основное различие состоит в пониженных спутниковых значениях АОТ в Приморье во второй половине года. Показывается также, что среднемесячные АОТ, наблюдаемые в районе Уссурийска, репрезентативны для всего Приморья.

Пространственное распределение аэрозольного замутнения на Дальнем Востоке неоднородно. Общий диапазон изменения АОТ превышает один порядок с минимальными значениями на севере Сибири и максимальными – на востоке Китая, где сосредоточено большое число крупных промышленных центров. Среди выделенных районов, самые низкие годовые значения АОТ (0.55 мкм) характерны для Забайкалья – 0.14 (такие же, как в Западной Сибири). АОТ атмосферы в Приморье на ~ 40 % выше вследствие совместного влияния пылевых выносов и горения растительности в теплый период. Аэрозольное

замутнение над акваторией Японского моря (0.30) больше, чем в Приморье, так как находится в зоне дополнительного (кроме пыли) воздействия выносов антропогенного аэрозоля со стороны Китая. Охотское море находится севернее зоны основных выносов азиатского аэрозоля. Аэрозольное замутнение атмосферы над Охотским морем (0.23) хотя и меньше, чем над Японским морем, но все же относительно велико в сравнении с соседним районами континента. По-видимому, это обусловлено вулканической деятельностью на Камчатке и Курилах. Максимальные АОТ (0.53) наблюдаются в прибрежном районе Китая, граничащим с Желтым морем. Зимой АОТ в Приморье, Забайкалье и Охотском море выравниваются.

Кроме средних характеристик рассматривается межгодовая изменчивость АОТ. При разном уровне аэрозольного замутнения колебания АОТ в Приморье, Забайкалье и Охотском море имеют общий характер. Всплески АОТ, наблюдавшиеся в 2003, 2008 и 2006 гг., более выражены в континентальных районах, в основном, за счет весенних данных. Этот факт указывает на наиболее вероятный источник замутнения – дымь горения растительности в Забайкалье и Приморье.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН № 75, гранта РФФИ 09-05-00961 и Государственного контракта № 02.740.11.0674.

Экспериментальное исследование процессов переноса на опустыненных территориях

Горчаков Г.И.¹ (gengor@ifaran.ru), Бунтов Д.В.², Карпов А.В.¹, Копейкин В.М.¹, Курбатов Г.А.³, Соколов А.В.³

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

²Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва, Россия

³Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

Experimental investigation of the transfer processes over desertified areas

Gorchakov G.I.¹, Buntov D.V.², Karpov A.V.¹, Kopeikin V.M.¹, Kurbatov G.A.³, Sokolov A.V.³

¹Obukhov Institute of Atmospheric Physic, RAS, Moscow, Russia

²Moscow State University of Instrument Making and Information, Moscow, Russia

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Ветропесчаный поток существенно влияет на процессы переноса аэрозоля, тепла, электрических зарядов, а также коротковолновой и инфракрасной радиации [1, 2]. Исследование процессов переноса в ветропесчаном потоке серьезно затрудняют многопараметричность и стохастичность данного явления.

Для исследования процесса переноса песчинок используется четырехканальный фотоэлектрический счетчик частиц, с помощью которого на четырех уровнях были зарегистрированы флуктуации суммарной концентрации песчинок. Были определены параметры кусочно-линейных регрессионных соотношений между концентрациями песчинок на разных уровнях. В верхнем и нижнем слоях сальтации выполнены измерения функции распределения сальтирующих песчинок по размерам. Показано, что наблюдаемые распределения сальтирующих песчинок по размерам с удовлетворительной точностью аппроксимируются усеченными гауссовыми функциями распределения.

В нижнем слое сальтации примерно от 1 до 20 мм методом скоростной видеосъемки зарегистрированы траектории сальтирующих песчинок. По восстановленным траекторным параметрам оценены турбулентные пульсации компонент скорости ветра в нижнем слое сальтации.

Рассмотрены взаимосвязи между параметрами сальтации и концентрацией частиц аэрозоля. Установлено, что суммарная концентрация частиц аэрозоля, генерируемого на подстилающей поверхности под воздействием ветропесчаного потока, сравнительно тесно

коррелирует с концентрацией песчинок в том случае, когда счетчики аэрозоля и сальтирующих песчинок находятся в непосредственной близости друг от друга.

Показано, что электрические токи в нижнем слое сальтации коррелируют с суммарной концентрацией сальтирующих песчинок. Обнаружено влияние процесса накопления зарядов на подстилающей поверхности на напряженность электрического поля в приповерхностном слое атмосферы.

Данные синхронных измерений функций распределения по размерам частиц аэрозоля и сальтирующих песчинок позволяют оценить их совместное влияние на радиационный режим в приземном слое атмосферы на опустыненной территории.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 10-05-00280) и Программы ОНЗ РАН №7 “Физические поля и внутреннее строение Земли. Динамика межгеосферных взаимодействий”.

1. Горчаков Г.И., Ермаков В.И., Копейкин В.М. и др. Электрические токи сальтации в ветропесчаном потоке. *Доклады АН*, 2006, **410**, 2, 259–262.
2. Горчаков Г.И., Титов А.А., Бунтов Д.В. Параметры нижнего слоя сальтации на опустыненной территории. *Доклады АН*, 2009, **424**, 1, 102–106.

Особенности параметризации основных микроструктурных и радиационных характеристик облачности смешанного фазового состава

Петрушин А.Г. (petrushin-2005@mail.ru)

Обнинский институт атомной энергетики, Студгородок 1, 249040 Обнинск, Россия

The parameterization features of the main radiative and microstructural characteristics of mixed-phase clouds

Petrushin A.G. (petrushin-2005@mail.ru)

Obninsk Institute of Atomic Energy, Obninsk, Russia

Для облаков смешанного фазового состава подробно рассмотрены параметры микроструктуры различных фракций частиц (размеры частиц определенных форм, их концентрация и возможные функции распределения частиц по размерам), а также и основные оптические характеристики рассеяния излучения элементарным объемом (средний косинус индикатрисы рассеяния, факторы и показатели эффективности ослабления, рассеяния и поглощения излучения) для отдельных длин волн в диапазоне от 0.6 до 12.0 мкм. Модель микроструктуры смешанного облака включает в себя ледяные кристаллы различных форм и размеров и водные капли, равномерно перемешанные по всему объему облака [1]. Расчеты характеристик рассеянного излучения для кристаллической фракции смешанного облака проведены с помощью приближенных методов [2], разработанных нами ранее для расчетов характеристик рассеяния излучения на частицах с размерами, превышающими длину волны падающего излучения, а для капельной фракции этого облака – по методике, полученной с использованием известной теории Ми-Лоренца. Величины комплексного показателя преломления льда взяты из работы [3], комплексного показателя преломления воды – из [4].

На основе экспериментальных данных о размерах, концентрации ледяных частиц определенных форм и имеющейся связи водности капельной фракции с ледностью кристаллической фракции смешанного облака от его средней температуры T [5] при принятых функциях распределения частиц по размерам выявлена зависимость основных характеристик микроструктуры (отношение третьего момента распределения ко второму моменту распределения, относительные концентрации ледяных частиц определенных форм и водных капель) от T . Детальный анализ полученных расчетов указанных оптических характеристик рассеяния излучения элементарным объемом рассматриваемой облачной среды позволил провести их параметризацию в зависимости также от T .

С использованием рассчитанных оптических характеристик смешанных облаков выполнена оценка их влияния на основные радиационные характеристики (альbedo

облачного слоя, коэффициент пропускания). Эти радиационные характеристики определялись с помощью приближения дельта-Эддингтона [6]. Рассматривались оптические слои с толщинами $\tau < 10$ и зенитными углами Солнца меньше 60° . Для рассмотренных длин волн падающего излучения при фиксированных значениях средней температуры облачного слоя T и τ возможный разброс величин альбедо слоя может в среднем достигать порядка 50 %. Уменьшение указанного разброса и, соответственно, получение с относительно высокой точностью параметризации радиационных характеристик облачных слоев с известными τ от средней температуры при определенных условиях наблюдения возможны только при получении надежных экспериментальных данных о температурной зависимости концентраций и размеров облачных частиц различных форм.

1. Petrushin A.G. Main optical characteristics of light scattering by mixed-phase clouds. *Izv., Atm. and oceanic physics*, 2001, **37**, 1, pp.149–156.
2. Петрушин А.Г. Средний косинус индикатрисы рассеяния оптического излучения в смешанных облаках. *Изв. РАН, ФАО*, 2007, **43**, 4, 133–139.
3. Warren S.G. Optical constants of ice from ultraviolet to the microwave. *Appl. Opt.*, 1984, **23**, 8, 1206–1225.
4. Pincley L.W., Sethna P.P., Williams D. Optical constants of water in the infrared: influence of temperature. *JOSA*, 1977, **67**, 4, 494–499.
5. Sundqvist H. Inclusion of ice phase of hydrometeors in cloud parameterization for mesoscale and largescale models. *Beitr. Phys. Atm.*, 1993, **66**, 445–453.
6. Joseph J.H., Wiskombe W.J. The delta - Eddington approximation for radiative flux transfer. *J. Atm.Sci.*, 1976, **33**, 12, 2452–2459.

Методика расчета аэрозольного ослабления излучения в атмосфере аридной зоны

Осипов В.М. (v.osipov@list.ru), Борисова Н.Ф.
ФГУП НИИКИ ОЭП, 188540 Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Процессы переноса радиации в районах пустынь и полупустынь играют значительную роль в радиационном балансе земли. Как правило, при решении задач переноса радиации для учета аэрозольного вклада в ослабление радиации используются те или иные модели, позволяющие учитывать региональные и сезонные вариации характеристик аэрозольного ослабления. Наибольшее распространение получила, в частности, модель Lowtran [1], которая позволяет рассчитать высотный ход коэффициентов аэрозольного ослабления и их спектральную зависимость для различных региональных и сезонных условий, различных состояний атмосферы, в том числе и для атмосферы аридной зоны. Спутниковые и наземные экспериментальные измерения последних лет дают возможность оценить, насколько обоснованно можно применять такие модельные подходы.

В данной работе выполнено сравнение модельных расчетов величины аэрозольного ослабления для субаридной зоны Казахстана (северо-западная часть побережья озера Балхаш) с результатами спутниковых [2] и наземных [3] измерений. Показано, что модельные [1, 4] расчеты, как правило, заметно занижают вклад аэрозольного ослабления. Наибольшие расхождения (почти на порядок) обнаружены для условий лета–осени в длинноволновом участке спектра.

Предложена методика расчета пропускания в окнах прозрачности атмосферы, в которой для оценки аэрозольного вклада используется модель С.Д. Андреева, Л.С. Ивлева [5]. Параметры мультимодального распределения аэрозолей по размерам в приземном слое аридной зоны для разных сезонов определены по экспериментальным данным [3]. Для нормировки высотного хода коэффициента аэрозольного ослабления используются данные [2]. Представлены оценки аэрозольного вклада в оптическую толщину атмосферы для различных сезонов.

1. Kneizys F.X., Abreu L.W., Anderson G.P. The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model. PL/GPOS, Hanscom AFB, MA 0173-3010, Contract F19628-91-C-0132, 1996, 260 p.
2. <http://atrad.atmos.iao.ru/modisDB/>

3. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. Аэрозольное ослабление оптического излучения в атмосфере аридной зоны. *Оптика атм. и океана*, 1994, 7, 10, 1318–1329.
4. Иванов В.П. Прикладная оптика атмосферы в тепловидении. Казань: Новое знание, 2000, 357 с..
5. Андреев С.Д., Ивлев Л.С. Моделирование оптических характеристик аэрозолей приземного слоя атмосферы в области спектра 0.3–15 мкм. Ч.III. Результаты моделирования. *Оптика атм. и океана*, 1995, 8, 8, 1236–1243.

Восстановление спектра размеров частиц аэрозоля методом разложения элементов матрицы рассеяния света на дискретные компоненты

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

Минский государственный высший радиотехнический колледж, пр. Независимости 62, 220005 Минск, Беларусь

В докладе рассматриваются модели атмосферного аэрозоля, рекомендованные радиационной комиссией Международной ассоциации по метеорологии и атмосферной физике. Различные стадии трансформации аэрозоля проявляются в изменении концентрации основных аэрозольных компонентов: *D* (dust-lake) – пылевые частицы, *W* (water-soluble) – растворимые в воде частицы, *S* (soot) – углеродный антропогенный аэрозоль. В процессе трансформации аэрозоля от модели континентального аэрозоля *C* (continental) до модели городского аэрозоля *U* (Urban/industrial) относительные объемные концентрации указанных аэрозольных компонентов изменяются в пределах 0.7–0.17, 0.29–0.61, 0.01–0.22, соответственно. Каждая из моделей аэрозоля представляет собой сложную аэрозольную смесь с трехмодальной функцией распределения частиц по размерам.

В приближении сферических частиц по формулам Ми были рассчитаны элементы матрицы рассеяния света и проведен анализ их структуры при учете возможных вариаций параметров аэрозоля. Полученные угловые зависимости элементов матрицы рассеяния света использовались в качестве входных данных в рассматриваемом методе восстановления спектра размеров частиц. Идея метода исходит из возможности разложения элементов матрицы рассеяния света на дискретные компоненты по обобщенным сферическим функциям ОСФ [1]. Коэффициенты разложений, как известно, выражаются посредством интегральных преобразований угловых зависимостей. Вычисление коэффициентов разложения сопряжено с определенными трудностями из-за осциллирующего поведения обобщенных сферических функций. Нами разработана методика, обеспечивающая высокую надежность расчетов. Для указанных моделей аэрозоля найдены соответствующие дискретные распределения коэффициентов разложения. Анализ полученных распределений позволил выявить их информативные признаки, находящиеся в тесной связи со спектром размеров частиц аэрозоля. Так, для первого элемента матрицы рассеяния число максимумов в спектре коэффициентов разложения совпадает с числом фракций аэрозоля, заметно различающихся по размерам. Порядок коэффициентов разложения в области каждого максимума находится в линейной функциональной связи с эффективными размерами частиц аэрозоля каждой фракции. Амплитуды распределений в максимумах находятся в тесной стохастической связи с объемными концентрациями частиц каждой из фракций. Результаты расчетов показывают, что недиагональные элементы матрицы рассеяния менее чувствительные к микроструктуре аэрозоля. Вместе с тем обнаружены заметные различия спектров разложения для симметричных и ассиметричных компонентов.

Результаты расчетов коэффициентов разложения на моделях аэрозоля при широкой вариации их параметров открывают возможность применения данного метода к реальному аэрозолю, к процессу его трансформации. Множество кривых распределений коэффициентов разложений, рассчитанных для элементов матрицы рассеяния света в процессе трансформации аэрозоля, дают наглядную картину характера изменения микроструктуры и

компонентного состава аэрозоля под влиянием естественных и техногенных факторов, что, несомненно, важно для системы мониторинга окружающей среды.

1. Гаврилович А.Б., В.И. Бычек. Разложение элементов матрицы рассеяния света атмосферной дымки по обобщенным сферическим функциям. *Оптика атмосферы и океана*, 1996, **9**, 10, 1319–1326.

Спектрнефелометрия в исследованиях высокочастотных вариаций параметров приземного аэрозоля

Исаков А.А. (A.A.Isakov@mail.ru)

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

Появление мощных трехцветных светодиодов позволило создать малогабаритный спектрнефелометр нового поколения. Нефелометр измеряет коэффициент направленного светорассеяния D под углом рассеяния 45° на трех длинах волн – 0.46, 0.52 и 0.62 мкм. Практическая безинерционность светодиодов дает возможность коммутировать кристаллы с темпом в миллисекунды. Это позволяет исследовать флуктуации качественного состава аэрозоля (параметров Ангстрема и Хенела) с частотами в несколько десятых долей герца. Сигналы прибора регистрируются компьютером с частотой выборки порядка 100 Гц.

Для абсолютной калибровки (в $\text{км}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}$) нефелометра была применена используемая в мировых сетях типовая схема калибровки сетевых приборов по единому эталону. В качестве такового использовался серийный нефелометр ФАН, прошедший аналогичную калибровку в Институте оптики атмосферы в г. Томске.

Прибор оборудован низкотемпературным нагревателем, датчиками относительной влажности воздуха, внешней температуры и температуры воздуха в камере для контролируемой осушки аэрозоля и оценки его конденсационной активности. Автоматическое включение нагревателя осуществляется программно таймером компьютера раз в полчаса. Нагреватель «выходит на режим» около пяти минут, в течение которых относительная влажность заборного воздуха в рабочей камере прибора плавно и контролируемо уменьшается, так получается кривая зависимости $D(\lambda_i)$ от относительной влажности. Под параметром конденсационной активности мы понимаем здесь оптический отклик на изменение относительной влажности воздуха Rh при нагреве заборного воздуха, обработанный с помощью модифицированной формулы Хенела:

$$D(Rh(T)) = D(Rh = 0)(1 - Rh(T))^{-\chi}$$

здесь $D(Rh)$ – значение коэффициента направленного светорассеяния увлажненного аэрозоля, $D(Rh=0)$ – его значение при нулевой относительной влажности воздуха, χ – параметр Хенела, T – температура воздуха. Параметр χ оценивается по всей кривой осушки аэрозоля как наклон прямой регрессии D – Rh .

Наиболее резко изменение параметров аэрозоля происходит при прохождении атмосферных фронтов, сопровождающихся сменой воздушных масс. Весь процесс прохода теплого сектора и последующего холодного аклюдируемого фронта занимает всего лишь несколько часов и быстродействие приборов в такой ситуации очень важно. Далее под высокочастотными вариациями параметров аэрозоля мы будем понимать процессы с характерными временами менее суток. При осушении аэрозоля происходит как уменьшение радиуса a , так и повышение концентрации растворенных солей, увеличение показателя преломления n . Реакция параметров Ангстрема и Хенела для такой модели на изменение аргумента зависит от того, какой из множителей превалирует. Для обратнотепенного распределения частиц по размерам с постоянной по радиусу частиц конденсационной активностью параметр Ангстрема не меняется в процессе осушки, а параметр Хенела имеет нейтральный спектральный ход. И, наконец, в случае бимодальных распределений с разной во фракциях природой частиц возможен, в зависимости от параметров частиц, случай инверсного спектрального хода χ и уменьшение α при осушке.

В [1] исследованы гигроскопические свойства модельного ряда частиц аэрозоля, включающих, в том числе, сульфат аммония. Обнаружено, что эти свойства существенно отличаются от свойств объемных фаз; так, на начальной стадии обводнения происходит «реструктуризация» частицы, сопровождающаяся не увеличением, а уменьшением эффективного радиуса частицы. За время наблюдений в течение первой половины 2008 г. были зарегистрированы практически все возможные варианты изменений этих параметров. Они будут представлены в докладе. Наиболее частым вариантом быстрой изменчивости были таковые в результате прохождения атмосферных фронтов, в первую очередь фронтов окклюзии, занимавших по времени около десяти часов. В спектрах мощности вариаций как α , так и χ устойчиво наблюдаются пики на периодах в пределах 30 мин–2 часа.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 10-05-01019.

1. Михайлов Е.Ф., С.С.Власенко, Т.И.Рышкевич. Влияние химического состава и микроструктуры на гигроскопический рост пирогенного аэрозоля. *Изв. РАН, ФАО*, 2008, **44**, 4, 450–466.

Временная изменчивость содержания органического и неорганического углерода в аэрозолях Сибирского региона

Михайлов Е.Ф., Власенко С.С. (Sergey.Vlasenko@paloma.spbu.ru), Васильева С.Ю.
Санкт-Петербургский государственный университет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Temporal variability of organic and inorganic carbon in Siberian aerosols

Mikhailov E.F., Vlasenko S.S. (Sergey.Vlasenko@paloma.spbu.ru), Vasilyeva S.Yu.
St.Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

Аэрозольное радиационное возмущающее воздействие на климат главным образом связывают со светопоглощающими аэрозолями, ключевое место среди которых занимает углеродсодержащий аэрозоль. Основной канал поступления таких частиц в атмосферу – сгорание органических материалов (уголь, нефть, древесина и т.п.), и в результате интенсификации хозяйственной деятельности человека количество углеродсодержащих частиц в атмосфере неуклонно возрастает. Однако, в зависимости от условий образования химический состав пирогенного аэрозоля может быть различным, что затрудняет количественные оценки радиационного эффекта такого аэрозоля. Содержащийся в пирогенном аэрозоле элементарный («черный» /BC/) углерод обуславливает сильное поглощение электромагнитного излучения в видимом диапазоне, что должно приводить к увеличению притока тепла к атмосфере. С другой стороны, аэрозольные частицы, образующиеся в процессе горения, содержат гигроскопические органические соединения (органический углерод /OC/), в результате чего они являются эффективными ядрами конденсации. Таким образом, рост числа углеродсодержащих частиц в атмосфере может приводить к увеличению числа облачных капель, а значит к увеличению облачного альбедо, т.е. к уменьшению притока тепла к атмосфере. Следовательно, результирующий климатический эффект углеродсодержащих аэрозолей определяется их химическим составом, прежде всего соотношением органического и элементарного углерода.

В данной работе представлены данные о содержании органического и элементарного углерода в аэрозольных пробах, отобранных в центральной части Сибири (пос. Зотино, Красноярский край) в рамках российско-германского эксперимента «Zotto» за 2006 и 2010 годы. Анализ аэрозольных проб на содержание углерода проводился термооптическим методом, основанном на измерении концентрации углекислого газа, образовавшегося в результате каталитического окисления углеродсодержащих веществ, испаряющихся из аэрозольных проб при данной температуре. Зависимость концентрации углекислого газа от температуры позволяет судить о количественном содержании органического и неорганического углерода в частицах. Представленные данные показывают, что фоновое содержание аэрозольного углерода находится на достаточно низком уровне 2–5 мкг/м³,

однако наблюдаются кратковременные ситуации, когда концентрация углерода резко возрастает до 50–100 мкг/м³. Среднее отношение массы органического углерода к массе неорганического в исследуемых аэрозолях примерно равно 4, но отличается значительной изменчивостью (среднеквадратичное отклонение представленного временного ряда равно 3.8).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 11-05-00945, №09-05-00883).

Структура и динамика дымовых шлейфов от лесных пожаров по данным спутникового мониторинга

Дубровская О.А.¹ (olga@ict.nsc.ru), Мальбахов В.М.², Сухинин А.И.³

¹*Институт вычислительных технологий СО РАН, пр. академика Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, пр. академика Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия*

³*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Академгородок, 660036 Красноярск, Россия*

Лесные пожары являются мощным источником большого количества аэрозольных частиц, которые меняют оптические, радиационные, термодинамические и экологические характеристики атмосферы. Увеличение площадей, выгоревших в результате массовых лесных пожаров на территории Сибири, а также длительности пожароопасного сезона и пожарной активности приводят к значительным выбросам дымовых газов и аэрозоля. Дымовые шлейфы покрывают территорию в сотни раз большую, чем площадь огня и оказывают влияние на формирование облаков и образование осадков. Современные методы дистанционного зондирования дают возможность исследовать структуру и динамику дымовых шлейфов. Системы космического мониторинга позволяют выделить задымленные территории, определить источники задымления, а также выделить дымовые шлейфы и дымовые колонки.

Анализ данных дистанционного зондирования, связанные с катастрофическими пожарами для азиатской части России в период с 2002 по 2008 год показывает следующие регулярные зависимости: а) области катастрофических массовых пожаров возникают в условиях длительной засухи, когда устанавливается блокирующий антициклон; б) ожидаемая резервная облачность, которая частично должна подавлять такие пожары, обтекает зону пожаров и задымления по периферии. Эти явления могут быть обусловлены дымовым аэрозолем при развитой конвективной облачности над зоной пожара. Если дымовой аэрозоль попадает в облачный слой, то создаются условия для проникновения примеси вплоть до тропопаузы. Численные расчеты показали, что увеличение концентрации дымового аэрозоля в вершине облака приводит к уменьшению общего количества выпавших осадков. Физическое объяснение этого феномена заключается в следующем. Если вершина дождевого облака расположена выше уровня изотермы – 120 С, то она состоит из водяного пара, водяных капель, ледяных кристаллов, снега и ледяной крупы [1, 2]. Попадание достаточного количества дымового аэрозоля в верхние слои стимулирует быструю кристаллизацию водяных капель. Такие облака дают более слабые осадки, чем облака, вершины которых состоят из смеси ледяных кристаллов, снега и дождевых капель [1, 2].

В работе представлены результаты численного моделирования переноса и трансформации дымовых шлейфов, выделяемых при массовых лесных пожарах и создающих обстановку чрезвычайного задымления местности, с использованием оперативных данных, полученных сенсором MODIS с платформ TERRA/AQUA. Предложенные модели и интерпретация проведенных по ним расчетов показывают, что массовые лесные пожары заметным образом влияют на экологию и погодные изменения в азиатской части России.

1. Мейсон Б. Дж. *Физика облаков*. Л.: Гидрометиздат, 1961, 541 с.

2. Сулаквелидзе Г.К. *Ливневые осадки и град*. Л.: Гидрометиздат, 1963, 412 с.

Рэлеевское приближение для частиц произвольной формы

Фарафонов В.Г. (far@aanet.ru), Ильин В.Б.

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Бол. Морская 69, 190000 Санкт-Петербург, Россия*

Мы рассматриваем рассеяние света частицами, малыми по сравнению с длиной волны падающего излучения. Как известно, более 100 лет назад лорд Рэлей сформулировал приближение, которое дает простые выражения для оптических характеристик подобных частиц, если они являются однородными и эллипсоидальными [1]. Впоследствии приближение было распространено на слоистые эллипсоиды и, с использованием теоремы сложения, на агрегаты, составленные из шаров [2, 3]. Выражения, получаемые в рэлеевском приближении, содержат два одномерных интеграла, которые могут быть найдены аналитически для шаров, вытянутых и сплюснутых сфероидов, а также бесконечно длинных цилиндров и бесконечно тонких дисков. Для малых частиц неэллипсоидальной формы решение проблемы рассеяния света сводилось ранее к численному решению некоторого интегрального уравнения [4].

В данной работе в приближении, предполагающем однородность поля внутри любой малой частицы, мы получаем простое выражение для ее поляризуемости (и, как следствие, для других оптических характеристик). Выражение включает одномерный интеграл, который может быть найден аналитически для частиц многих форм, в частности, конечных цилиндров, конусов, параллелепипедов и т.д.

Сравнение с численными данными, полученными точными методами (SVM, EBCM, DDA и др.) для различных типов малых частиц, показало, что найденное приближение дает приемлемые результаты даже тогда, когда форма рассеивателей значительно отличается от эллипсоидальной. Для эллипсоидов наше приближение совпадает с рэлеевским, область применимости которого хорошо изучена [5].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-02-00593а.

1. Lord Rayleigh. On the incidence of aerial and electric waves upon small obstacles in the form of ellipsoids or elliptic cylinders. *Philos. Mag.*, 1897, **44**, 28–52.
2. Борен К., Хаффмен Д. *Поглощение и рассеяние света малыми частицами*. М.: Мир, 1986, 660 с..
3. Jones A.R. Electromagnetic wave scattering by assemblies of particles in the Rayleigh approximation. *Proc. Royal Soc. Lond. A.*, 1979, **366**, 111–127.
4. Ramm G. Wave scattering by small bodies of arbitrary shapes. Singapore: World Scientific Publ., 2005, 293 pp.
5. Ku J.C., Felske J.D. The range of validity of the Rayleigh limit. *J. Quant. Spectr. Rad. Transf.*, 1984, **31**, 569–574.

Фотофоретическое взаимодействие аэрозольных частиц в средней атмосфере

Черемисин А.А. (aacheremisin@gmail.com), Кушнаренко А.В.

Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 79, 660041 Красноярск, Россия

Photophoretic interaction of aerosol particles in rarefied gas environment

Cheremisin A.A. (aacheremisin@gmail.com), Kushnarenko A.B.

Siberian Federal University, Svobodny Pr. 79, 660041 Krasnoyarsk, Russia

Обнаружен новый вид взаимодействия между аэрозольными частицами, находящимися в разреженной газовой среде — фотофоретическое взаимодействие [1]. Этот результат получен путем компьютерного моделирования на основе использования приближения свободномолекулярного газокинетического режима и разработанных ранее алгоритмов Монте-Карло [2]. Ранее мы исследовали влияние фотофореза на стратификации аэрозоля в средней атмосфере [3]. Причиной возникновения этого явления является асимметрия

процесса аккомодации газовых молекул на поверхности частиц, температура которых отличается от температуры окружающей газовой среды вследствие поглощения ими потоков солнечного и инфракрасного излучений. Неравномерность аккомодации молекулярной энергии для какой-либо частицы может возникнуть из-за влияния других частиц. Это приводит к возникновению суммарной силы, действующей на частицу. Частицы с горячими поверхностями отталкиваются из-за обмена импульсом через газовую среду.

Известно, что при термофорезе, также относящемся к газокинетическим явлениям, наблюдается слабое взаимодействие между частицами, обратно пропорциональное седьмой степени расстояния между ними [4]. В работе [5] проведено исследование влияния термофоретического взаимодействия на коагуляцию аэрозольных частиц. Фотофоретическое взаимодействие существенно сильнее термофоретического. Это взаимодействие убывает с увеличением расстояния между частицами по кулоновскому типу, а на небольших расстояниях между частицами относительная величина взаимодействия может превышать силу тяжести в десятки и даже сотни раз, в зависимости от размера и оптических характеристик частиц, потоков падающего излучения, а также температуры и давления газовой среды. Нами было проведено моделирование для лабораторных условий, и условий атмосферы.

Основные понятия, лежащие в основе современных моделей коагуляции – это броуновское движение частиц, межчастичное взаимодействие, которое обусловлено силами Ван-дер-Ваальса, а также кулоновскими электростатическими силами, если коагулирующие частицы заряжены. Как показано, фотофоретические силы также способны оказать влияние на коагуляцию частиц аэрозоля в зависимости от размера и оптических характеристик частиц, интенсивности потоков излучения, температуры и давления газовой среды. Это взаимодействие может проявить себя в условиях атмосферы и, тем более, при облучении мощными лазерными пучками.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00907-а), Министерства науки и образования РФ (проект № 2.1.1/6996).

1. Черемисин А.А., Кушнарченко А.В. Оценка фотофоретического взаимодействия аэрозольных частиц в стратосфере. *Опт. атм. и океана*, 2010, **23**, 6, 475–479.
2. Cheremisin A.A. Transfer matrices and solution of the heat-mass transfer problem for aerosol clusters in a rarefied gas medium by the Monte Carlo method. *Rus. J. Numer. Anal. Math. Modelling (RJNAMM)*, 2010, 25, 3, 209–233.
3. Cheremisin A.A., Vassilyev Yu.V., Horvath H. Gravito-photophoresis and aerosol stratification in the atmosphere. *J. Aerosol Sci*, 2005, **36**, 1277–1299.
4. Keh H.J., Chen S.H. Particle interactions in thermophoresis. *Chem. Eng. Sci.*, 1995, **50**, 21, 3395–3407.
5. Haesung Jung, Sun Young Lee, Jung Hyeun Kim. Numerical analysis for the thermophoretic coagulation of monodisperse particles at continuum regime. *J. Colloid Interface Sci.*, 2010, **349**, 1.1, 438–441.

СЕКЦИЯ 5. "РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ В МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА"

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

Сопредседатели: член-корр. РАН **И.И. Мохов** (ИФА РАН, Москва),
д.ф.-м.н. **Н.Е. Чубарова** (МГУ, Москва), к.ф.-м.н. **П.В. Спорышев**
(ГГО, СПб), д.ф.-м.н. **Б.А. Фомин** (ЦАО, Москва), Prof. **Nicole**
Jacquinet (Ecole Polytechnique, France), Prof. **Hartmut Grassl** (Max
Planck Institute for Meteorology, Germany)

SESSION 5. "RADIATIVE CLIMATOLOGY AND ALGORITHMS IN MODELS FOR WEATHER AND CLIMATE FORECASTING"

Chairman: Prof. **O.M. Pokrovsky** (MGO, SPb)

Co-chairmen: Ass. of RAS **I.I. Mokhov** (IFA RAS, Moscow), Prof. **L.R. Dmitrieva** (RHMC,
Moscow), д.г.н. **N.E. Chubarova** (MSU, Moscow), Prof. **B.A. Fomin** (CAO,
Moscow), Dr. **P.V. Sporyshev** (MGO, SPb), Prof. **N. Jacquinet** (Ecole
Polytechnique, France), Prof. **H. Grassl** (Max Planck Institute for
Meteorology, Germany)

Оценка вклада антропогенных и естественных внешних воздействий в климатические изменения на территории России по результатам расчетов с климатическими моделями

Спорышев П.В. (sporyshev@inbox.ru)

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

Estimation of the contribution of anthropogenic and natural external forcings in climatic changes over territory of Russia based on results of simulations with climatic models

Sporyshev Petr V.

Voeikov Main Geophysical Observatory, St.Petersburg, Russia

В докладе представлены результаты анализа вклада отдельных внешних воздействий в климатические изменения на территории России. Рассматривались 4 серии экспериментов с моделью общей циркуляции атмосферы и океана UKMO-HadCM3, по 4 эксперимента в каждой серии. Все 4 эксперимента в каждой из серий отличались только выбором начальных условий для интегрирования. Эксперименты охватывают период со второй половины 19-го до конца 20-го века. В первой серии экспериментов (20C_ghg) учитывается только влияние на атмосферную циркуляцию наблюдаемых изменений в концентрации основных парниковых газов. Во второй серии экспериментов (20C_anthro) к этому внешнему воздействию добавлен учет изменений в концентрации стратосферного и тропосферного озона и сульфатного аэрозоля, вызванных хозяйственной деятельностью. Таким образом, в этой серии учитываются все внешние воздействия антропогенной природы. В следующей серии экспериментов (20C_natural) учитывается влияние только естественных внешних воздействий, в частности, изменений приходящей солнечной радиации на верхней границе атмосферы и изменений в концентрации стратосферного аэрозоля вулканического происхождения. И в последней серии (20C_all) учитываются все внешние воздействия, как естественной, так и антропогенной природы.

Остановимся подробнее на результатах анализа. Для сравнения было выбрано два климатических временных интервала: контрольный климат (1921–1970 гг.) и изменившийся климат (1985–1999 гг.). По территории России в целом основной вклад в климатические изменения по модельным расчетам внесло изменение в атмосферной концентрации парниковых газов. Так в 20C_ghg-экспериментах рост среднегодовой температуры

приземного воздуха составил 1.35 град. Другие внешние воздействия антропогенной природы только ослабляли потепление: в 20C_anthro-экспериментах рост температуры составил 0.84 град. В 20C_all-экспериментах, где учитывается влияние всех внешних воздействий, рост температуры был еще меньше – 0.6 град. Отметим, что полученный результат довольно хорошо согласуется с данными наблюдений. По наблюдениям рост температуры составил 0.51 град., а разброс температурных изменений в 4-х 20C_all-экспериментах был от 0.4 до 0.82 град. Если же в экспериментах учитывались только естественные внешние воздействия, то модель UKMO-HadCM3 не показала существенных изменений температуры. В среднем по 20C_anthro-экспериментам изменения составили – 0.03 град., а разброс по ансамблю был от – 0.15 до 0.15 град. Таким образом, для территории России полученный результат качественно согласуется с проведенными ранее исследованиями, в которых было показано, что вклад роста концентрации парниковых газов в глобальный температурный тренд второй половины 20-го века был наибольшим (больше наблюдаемого тренда), а суммарное воздействие всех остальных факторов только ослабляло рост температуры.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ грант 09-05-00814-а.

Динамика радиационных климатообразующих факторов и оценка их роли в формировании глобального климата

Покровский О.М. (pokrov_06@mail.ru)

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

Представлен анализ рядов основных климатообразующих факторов (температура атмосферного воздуха, поверхности океана, площади ледового покрова) по данным контактных и спутниковых наблюдений. Особое внимание уделено радиационным характеристикам (облачность, составляющие радиационного баланса). Прослеживается связь между различными климатическими индикаторами. В исследовании используются методы, разработанные для анализа нестационарных временных рядов (нелинейный тренд, вейвлет анализ и др.). Для оценки вклада различных климатообразующих факторов в формирование климатического ряда глобальной температуры воздуха в последние 150 лет выполнен факторный анализ.

Dynamics of Radiation Climate Factors and its Role in Evaluation of Global Climate Change

Pokrovsky Oleg (pokrov_06@mail.ru)

Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, 194021, Russia

An analysis of the time series of main climate variables (surface air temperature, sea surface temperature, sea ice extent) was carried out. These data were based on satellite and ground based observations. Special attention was drawn to radiation parameters (cloudiness, components of surface radiation budget). It was found that there are relationships between various climatic indicators. Specific tools addressed to analysis of non-stationary time series were implemented in this study (non-linear trend technique, wavelet and cross-wavelet analysis). We have investigated a coherence between the oscillations responded to various climate system components. The ocean is a principal climate component as it is the major heat container on the Earth. The climate swings of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) are most evident in and around the North Atlantic and take roughly 60 years to complete. The studies of paleoclimate proxies, such as tree rings and ice cores, have shown that oscillations similar to those observed instrumentally have been occurring for at least the last millennium. In the 20th century, the climate swings of the AMO have alternately camouflaged and exaggerated the greenhouse warming, and made attribution of global warming more difficult to ascertain. The data sets of the ice extents in the Russian marginal seas for 1900-

1999 have been prepared in the Russian Arctic and Antarctic Research Institute. Our smoothing technique allows us to filter out the high frequency components presented in original time series and to reveal a 60-year AMO cycle in a more transparent mode. The AMO wavelet power spectrum demonstrates very strong anomaly area corresponding to a cycle of about 60 years, confirming the result based on the AMO series smoothing. Moreover, a statistical analysis showed the 60-year cycle to be a significant phenomenon at the 95% probability level. A smoothed ice extent curve for the Barents and Kara Sea September monthly data demonstrates slow multi-decadal oscillations similar to AMO, but opposite in phase. Wavelet analysis exhibits a power spectrum structure similar to those for AMO. The Pacific Decadal Oscillation (PDO) is defined as the leading principal component (the first empirical orthogonal function) of North Pacific monthly sea surface temperature (SST) variability north of 20° N for the period started from 1900. The PDO is detected as warm or cool surface waters in the Pacific Ocean. During a "warm", or "positive", phase, the west Pacific becomes cool and part of the eastern ocean warms; during a "cool" or "negative" phase, the opposite pattern occurs. It turned out that there is strong coherence between the PDO and ice extent in Chukcha Sea. Physical mechanism is based on wind impact of atmospheric circulation regime on ice extent in Pacific sector of Arctic generated by the SST anomalies in Northern Pacific. This relationship was confirmed by both techniques: smoothing and wavelet analysis. The 60-year cycle in PDO was revealed. The AMO phase delay with account to the PDO. Similar is valid for ice extent amount fluctuations in Atlantic and Pacific sectors of Arctic.

Радиационная энергетика системы Земля-атмосфера и ее влияние на характеристики атмосферы в зависимости от микрофизических свойств облаков по результатам экспериментов с гидродинамической моделью атмосферы

Дмитриева-Аппаго Л.Р. (dmitrieva@mecom.ru), Перов В.Л., Шатунова М.В., Харин А.С.
Гидрометцентр России, Бол. Предтеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия

Радиационная энергетика системы Земля-атмосфера определяется наличием и свойствами облачности. Микрофизические свойства облаков регулируют распределение потоков излучения в пределах атмосферы и на подстилающей поверхности. Особенности распределения потоков коротковолновой и длинноволновой радиации формируют результирующую энергетiku системы, термический режим подстилающей поверхности и атмосферы, а также потери системы в космос, имеющие погодное и климатическое значение.

Представлены результаты анализа совместного влияния солнечной и длинноволновой радиации при наличии облачности в разных слоях атмосферы на радиационную энергетiku системы в зависимости от микрофизических свойств облаков. Расчеты основаны на методах определения коэффициентов поглощения и рассеяния излучения, учитывающих основные характеристики микроструктуры облаков: водность, средний радиус распределения частиц по размерам и параметра функции гамма-распределения, широко используемого для капельных и кристаллических облаков. Коэффициенты поглощения и ослабления солнечного излучения в облаках рассчитаны с использованием формул, предложенных В.И. Хворостьяновым. В длинноволновой области спектра использованы формулы, предложенные К.С. Шифриным. Обе формулы содержат указанные выше микрофизические характеристики.

Рассмотрена зависимость температуры подстилающей поверхности от вариаций поглощенной солнечной радиации с учетом изменения эффективного излучения подстилающей поверхности. Выполнено сравнение компонент баланса тепла на подстилающей поверхности и в слоях атмосферы по результатам экспериментов с мезомасштабной моделью прогноза погоды COSMO-RU. Выполнены оценки зависимости температуры атмосферы на разных уровнях, высоты геопотенциальной поверхности H500 от вариаций микрофизических свойств облаков.

Radiation energy of the Earth-atmosphere system and its influence on the atmospheric characteristics in dependence with the cloud microphysical properties under hydrodynamic model's experimental results

Dmitrieva-Arrago L.R. (dmitrieva@mecom.ru), Perov V.L., Shatunova M.V., Kharin A.S.
Hydrometeorological Research Center of Russia, B.Predtechensky 11–13, 123242 Moscow, Russia

Radiation energy of the Earth-atmosphere system is determined by the presence of cloudiness and by its characteristics. Cloud microphysical properties define the radiation fluxes redistribution within the atmosphere and incoming values to the underlying surface. Peculiarities of the shortwave and longwave fluxes distribution form radiation energy, thermal behavior of the underlying surface and atmosphere, as well as system's losses that have significance for the weather and climate formation.

The results of the joint analysis of the shortwave and longwave radiation influence on the system radiation energy in the presence of cloudiness and dependence upon the cloud microphysical properties are presented. Radiation fluxes calculation is based upon the extinction and scattering coefficients computation methods taking into account main microphysical values such as liquid water content (LWC), mean particle radius and parameters of the particle size distribution function in the form of Gamma-distribution that is widely used for the water and ice clouds.

Cloud extinction and absorption coefficients for the solar radiation were calculated by means of the formulas received by V.I. Khvorostynov. Other ones for the longwave radiation were proposed by K.S. Shifrin. These formulas include mentioned microphysical characteristics. Surface temperature dependence upon the variation of the absorbed solar radiation was examined taking into consideration changes in the surface effective radiation.

Comparison of the components of the surface and atmospheric layers heat budget was made under experimental results of the mesoscale weather forecast model COSMO-RU. Estimation of the atmosphere temperature and H500 surface height dependence on the cloud microphysical properties is made.

Усвоение данных дистанционного зондирования в региональной модели атмосферы

Смирнова М.М. (marja1702@gmail.com)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2,
119991 Москва, Россия*

В качестве начальных данных для мезомасштабных моделей динамики атмосферы обычно используются данные различных анализов (NCEP, ECMWF, JMS и другие). Эти начальные данные часто являются источником ошибок прогнозов с использованием региональных моделей динамики атмосферы. Сравнение этих анализов с натурными измерениями показывает достаточно большое количество случаев, когда наблюдаются значительные расхождения. Это может быть обусловлено различными факторами, такими как отказ от передачи измерений по некоторым станциям в международном обмене, особенностями интерполяции в регулярную сетку, опозданием данных измерений к сроку отсечения и т.д.

Одним из способов «исправить» начальные данные является трехмерный вариационный анализ. В рамках модели WRF ARW такой механизм реализован с помощью системы WRFDA (3dVar). В качестве исходных начальных полей использовались данные анализа NCEP, имеющего пространственное разрешение 0.5°. Для усвоения использовались данные дистанционного зондирования атмосферного пограничного слоя. Вертикальные профили температуры измерялись метеорологическим СВЧ профилемером МТП-5. Для измерения профилей скорости ветра использовались моностатические доплеровские содары ЛАТАН-3. Также для усвоения использовались данные синоптических и аэрологических

станций. Область прогноза охватывает Московский регион и имеет пространственное разрешение 2 км.

Были проведены несколько серий численных экспериментов с различными начальными данными: анализами NCEP, данными после усвоения дистанционных и контактных измерений, усвоения измерений только одного типа. Для каждой серии были рассчитаны ошибки прогноза температуры, влажности, давления и скорости ветра и их профилей. Их анализ показывает небольшое уменьшение ошибок при использовании 3dvar. Наибольшее влияние усвоения натурных измерений наблюдается в случаях сильных различий начальных данных.

Работа частично поддержана грантами РФФИ 09-05-00652-а, 10-08-00493-а и FP7 - IRSES - "Climseas".

Влияние шероховатостей снежного покрова на отраженную солнечную радиацию (результаты численного моделирования)

Журавлева Т.Б.¹ (ztb@iao.ru), Кохановский А.А.² (alexk@iup.physik.uni-bremen.de)

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

²Institute of Environmental Physics, University of Bremen, O. Hahn Allee 1, D-28359 Bremen, Germany

Следствием пространственно-временных вариаций отражающих свойств снежного покрова являются значительные изменения радиационного бюджета как отдельных территорий, покрытых снегом в течение длительного периода времени, так и земного шара в целом. Даже сравнительно небольшое уменьшение альбедо снега может привести к возрастанию поглощенной им солнечной радиации и, как следствие, оказать существенное воздействие на протекание гидрологических процессов. Экспериментальные данные и результаты численного моделирования показали, что шероховатость поверхности является одним из существенных факторов, оказывающих влияние на альбедо (A) и коэффициент отражения снежного покрова (SRF). Для количественных оценок его воздействия ранее было развито несколько моделей (Leroux, C. M. Fily, O'Rawe, Lyapustin и т.д.).

В настоящей работе для описания влияния заструг (протяженных гребней, сформированных под влиянием ветра в полярных регионах) на отражающие свойства снега нами использован статистический подход. Реализованный в рамках статистически однородной модели на основе пуассоновских потоков точек на прямых данный подход позволяет установить взаимосвязь между статистическими характеристиками шероховатой подстилающей поверхности и радиации [1]. Численное моделирование выполнено для набора значений оптических характеристик снега и геометрических характеристик заструг, типичных для ряда районов Антарктиды. Гладкая снежная поверхность, на которой располагались заструги, аппроксимирована плоским полубесконечным слоем (SISL, semi-infinite snow layer), коэффициенты отражения которого моделировались заранее с использованием 1D уравнения переноса излучения. Оценка 3D-эффектов выполнена на основе сравнения характеристик отраженной радиации A и SRF , рассчитанных в присутствии заструг и SISL. Показано, что

- наибольшее влияние 3D эффекты шероховатой снежной поверхности оказывают на формирование альбедо и угловых характеристик поля яркости при средних плотностях заструг и в условиях, когда прямые солнечные лучи падают перпендикулярно к их доминирующему направлению вытянутости;
- при поглощении снежными гранулами появление заструг приводит к уменьшению альбедо снежного покрова: при типичных геометрических характеристиках заструг и больших наклонных углах Солнца ($SZA = 75^\circ$) максимальное относительное различие A составляет 2–3 % при альбедо однократного рассеяния $SSA = 0.9999$, увеличиваясь до ~ 30 % при $SSA = 0.98$;

- анизотропия шероховатой снежной поверхности по сравнению с гладкой уменьшается за счет увеличения пика в направлении рассеяния “назад” и уменьшения пика в направлении рассеяния “вперед”. Полученное в пуассоновской модели соотношение между пиками “вперед”–“назад” находится в лучшем согласии с экспериментальными данными по сравнению с результатами других моделей;
- по мере уменьшения поглотительной способности снежных гранул и увеличения геометрической толщины заструг значения SRF в присутствии заструг могут быть существенно (до 30 %) меньше по сравнению с гладкой снежной поверхностью, что может привести к ошибкам восстановления размеров снежных гранул. В то же время, влияние 3D-эффектов заструг уменьшается при рассмотрении вместо коэффициента отражения фактора анизотропии ARF , связанного с SRF соотношением $ARF = SRF/A$.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 09-05-00963) и программы ОНЗ РАН 11.1.

1. Zhuravleva T.B, Kokhanovsky A.A. Influence of surface roughness on the reflective properties of snow. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2011, doi:10.1016/j.jqsrt.2011.01.004.

Оценки радиационного форсинга, обусловленного изменениями антарктического озонного слоя

Фролькис В.А.¹ (VFrolkis@vf13868.spb.edu), Кароль И.Л.² (Karol@main.mgo.rssi.ru)

¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-Красноармейская 4, 190005 С.-Петербург, Россия

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

В последние десятилетия активно обсуждается проблема так называемой антарктической «озонной дыры». Однако среди многочисленных модельных и инструментальных исследований «озонной дыры» оценкам ее климатического эффекта – величине производимого радиационного возмущения – уделяется недостаточно внимания. В такой ситуации одной из наиболее удобных и простых климатических характеристик, используемых для оценки величины климатического воздействия, является радиационный форсинг. Для его вычисления использованы данные озонозондовых измерений вертикальных распределений концентрации озона, температуры и давления на расположенных в Антарктическом регионе: станциях Amundsen-Scott (89.98° ю.ш., 24.8° з.д.), Marambio (64.23° ю.ш., 56.62° з.д.), Maitri (70.46° ю.ш., 11.45° в.д.), Neumayer (70.65° ю.ш., 8.26° з.д.), Novolasarevskaya/Forster (70.77° ю.ш., 11.87° в.д.), Syowa (69° ю.ш., 39.58° в.д.), которые представлены на сайте World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC) (<http://www.woudc.org/>). На основе этих измерений для каждой станции на вертикальной сетке, состоящей из 81 узла, выбираемых с учетом фактического высотного диапазона измерений, оценены среднемесячные значения озона и температуры. К сожалению, в различные годы и месяцы на станциях делалось разное количество измерений (от одного до десяти в месяц), которые к тому же имели существенно неодинаковое разрешение по высоте и различные верхние уровни. В результате полученные среднемесячные значения и последующие месячные оценки радиационных потоков характеризуются значительной статистической неоднородностью. Для рассматриваемых станций на уровне тропопаузы вычисляется мгновенный радиационный форсинг, обусловленный эволюцией содержания озона в выбранный месяц года в течение всего периода наблюдений с 1962 по 2010 г. Радиационный форсинг рассматривается относительно 1987 и/или 1995 г., которые принимаются в качестве «контрольных». Для каждого из осенних, летних и весенних месяцев анализируется временная изменчивость радиационного форсинга и общего содержания озона.

Определены оценки антипарникового эффекта, обусловленные антарктической «озонной дырой». Найдены коэффициенты линейной регрессии, связывающие радиационный форсинг с вариациями общего содержания озона в Антарктиде. Расчеты показали, что уменьшение содержания озона в антарктической стратосфере приводит, например, на станции Syowa в августе–ноябре и марте к уменьшению радиационного форсинга $\sim -0.5 \text{ Вт/м}^2$, а в декабре–феврале $\sim -1.5 \text{ Вт/м}^2$; на станции Amundsen-Scott в декабре–январе $\sim -2.1 \text{ Вт/м}^2$; на станции Maitri в декабре $\sim -1.5 \text{ Вт/м}^2$. В то же время на станции Neumayer в течение всего периода наблюдений практически отсутствует тенденция к уменьшению содержания озона и, следовательно, к изменению мгновенного радиационного форсинга. Полученные значения (по модулю) соизмеримы с годовыми значениями радиационного форсинга, вызванного антропогенным парниковым загрязнением северного полушария в 2000–2010 гг.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11-05-00750.

Estimations of radiative forcing due to antarctic ozone changes

Frolkis Victor¹ (VFrolkis@vf13868.spb.edu) and Karol Igor²

¹*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2-Krasnoarmeiskaja Str. 4, St. 190005 St. Petersburg, Russia*

²*A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Karbyshev Str. 7, 194021 Saint-Petersburg, Russia*

Among numerous model and measurement studies of Antarctic “ozone hole” there are few estimations of its radiative and climatic effects, in particular, of the relevant radiative forcing. In this study we use the ozone sounding data of vertical profiles of ozone concentration, temperature, and pressure in polar stations Amundsen-Scott, Marambio, Maitri, Mirny, Neumayer, Novolasarevskaya/Forster, Syowa (World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOUDC) (<http://www.woudc.org/>)). From these measurements monthly mean values of both ozone content and temperature for each station are calculated. The vertical grid has 81 levels which are selected with account of real height measurement range. Further for above stations the instantaneous radiative forcing due to ozone content evolution in fixed month during all measurement period (1962–2010) is computed at the tropopause level. The time dependence of both radiative forcing and ozone content for each of autumn, summer, and spring months is analyzed. The simple regression alignments between radiative forcing and Antarctic total ozone are obtained.

The estimations of anti-greenhouse effect due to Antarctic “ozone hole” are presented also. The estimations have shown that ozone decrease in the Antarctic stratosphere leads to radiative forcing $\sim -0.5 \text{ W/m}^2$ during the period August–November and $\sim -1.5 \text{ W/m}^2$ during the period December–January at Syowa station; $\sim -2.1 \text{ W/m}^2$ during the period December–February at Amundsen-Scott station; $\sim -1.5 \text{ W/m}^2$ in December at Maitri station. These values (with opposite sign) are approximately equal to 30 % of radiative forcing due to greenhouse warming in the North Hemisphere in 2000–2010.

Закономерности пространственной и временной изменчивости биологически активной УФ радиации

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru), Жданова Е.Ю., Незваль Е.И.
*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Ленинские горы, 119991
Москва, Россия*

Spatial and temporal features of changes in biologically active UV irradiance

Chubarova N.Ye., Zhdanova Ye.Yu., Nezval' Ye.I.
Lomonosov Moscow State University, Russia

УФ радиация (УФР), несмотря на малую долю в солнечном спектре, оказывает значительное влияние на здоровье человека. Облучение УФ радиацией в небольших дозах способствует формированию витамина D, что оказывает положительное действие на здоровье людей. В то же время большие дозы УФР приводят к развитию различных отрицательных последствий: возникновению рака кожи, различных заболеваний глаз и иммунной системы. В связи с этим возникает необходимость оценить климатологию распределения биологических ресурсов УФР по территории России в реальных условиях.

Такие работы были выполнены на основании математического моделирования с помощью радиационной модели TUV методом дискретных ординат в восьмипотоковом приближении. Пространственное разрешение задавалось 1х1 градус, расчеты проводились с 3-минутным шагом по времени в околополуденные часы с 11:30 до 12:30 для каждого дня года. Для характеристики аэрозольного ослабления в качестве входных параметров в модель использовались специально разработанные базы данных по аэрозольной оптической толщине в УФ диапазоне спектра. Для оценки альбедо поверхности использовалась база данных [1] по измерениям TOMS, созданная с помощью метода скользящих средних. В качестве данных по облачному ослаблению также использовались данные TOMS по Ламбертовой отражательной способности. Для разделения облачных и альбедных эффектов дополнительно была использована климатология по баллу облаков ERA-Interim. Эта дополнительная информация об облачности позволила разделить эффекты альбедо и облачности и более точно провести оценки УФ радиации в зимний период.

На основании многолетних данных наземных измерений в Метеорологической обсерватории МГУ в области 300–380 нм и на основании независимой модели реконструкции оценены потери радиации за счет облаков, что позволило оценить качество используемого подхода. Анализируется распределение биологически активной УФ радиации в различные сезоны года и роль различных факторов.

Исследование частично поддержано грантом РФФИ 09-05-00582.

1. Tanskanen A. Lambertian Surface Albedo Climatology at 360 nm from TOMS Data Using Moving Time-Window Technique. In: Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium, 1-8 June 2004, Kos, Greece.

**Оценки аэрозольных и радиационных характеристик атмосферы в
период лесных и торфяных пожаров 1972, 2002 и 2010 гг. в
Европейском регионе России**

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru), Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А.
*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Ленинские горы, 119991
Москва, Россия*

**The assessments of aerosol and radiative characteristics of the
atmosphere during the period of forest and peat fires in 1972, 2002 and
2010 in the European region of Russia**

Chubarova N.Ye. (chubarova@imp.kiae.ru), Gorbarenko E.V., Nezval' Ye.I., Shilovtseva O.A.
Lomonosov Moscow State University, Russia

Экстремально жаркое лето 2010 года привело к тому, что центральные области Европейской территории России были охвачены лесными и торфяными пожарами, которые вызвали сильнейшее задымление атмосферы. В данных условиях особенно актуальной становится возможность анализа результатов непосредственных наблюдений, проводимых в метеорологической обсерватории (МО) МГУ, что позволяет получить реальные оценки характеристик дымового аэрозоля и их воздействия на радиацию. Многолетние измерения МО МГУ дают возможность также проследить динамику подобных явлений на протяжении нескольких десятков лет, что приобретает особую важность на фоне наблюдающихся изменений климата. В качестве комплексной характеристики, позволяющей оценивать метеорологические условия, способствующие возникновению лесных пожаров, использовались классы горимости по Нестерову.

Формирование в июле 2010 года аномально жаркой и сухой погоды, характеризовавшейся исключительно высокими классами горимости (17 дней класса 5), явилось причиной высоких концентраций дымового аэрозоля с экстремально высокими значениями аэрозольной оптической толщины (АОТ), что оказало существенное воздействие на атмосферную радиацию. Получены оценки некоторых аэрозольных и радиационных характеристик атмосферы летом 2010 г., которые сопоставлялись с результатами измерений в 2002 и 1972 г. в периоды лесных и торфяных пожаров. Показано, что в 2010 году наблюдались экстремально высокие значения аэрозольной оптической толщины (АОТ₅₀₀), которая достигала 4.6 по данным AERONET. В то же время альбеда однократного рассеяния этого аэрозоля, как и в 2002 году, было довольно высоким и составляло около 0.95 в видимом диапазоне спектра. Исключительно высокие оптические толщины аэрозоля привели к существенным потерям суммарной солнечной радиации, более выраженным в УФ диапазоне, а также к некоторому росту нисходящего длинноволнового излучения. Сопоставление трех лет измерений в условиях дымового аэрозоля показало, что 2010 г. характеризовался более высокой повторяемостью наивысшего класса горимости по Нестерову, более высокими аэрозольными оптическими толщинами, а также более существенным ослаблением радиации по сравнению с соответствующими периодами 1972 и 2002 г.

Исследование частично поддержано грантом РФФИ 09-05-00582.

Пространственно-временные изменения мутности атмосферы на территории России

Махоткина Е.Л.¹ (makhotk@main.mgo.rssi.ru), Плахина И.Н.² (inna@ifaran.ru)

¹Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

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

Выполнена систематизация и обобщение данных о пространственно-временных изменениях интегральной и аэрозольной мутности атмосферы как на территории России в целом, так и в отдельных ее регионах. В качестве характеристик мутности атмосферы использовались фактор мутности Линке T_2 и аэрозольная оптическая толщина АОТ для эффективной длины волны 550 нм. Объектом исследования явились ряды месячных и годовых значений фактора мутности T_2 и аэрозольной оптической толщины атмосферы АОТ для основных регионов России: север, центр, юг ЕТР, Урал, Западная Сибирь, северо-восток, центр, юг АТР, Дальний Восток. Для оценки изменчивости регионально осредненных годовых и месячных значений T_2 и АОТ были проанализированы данные наблюдений 75 станций. Для периодов 1976–1995, 1976–2010, 1994–2010 гг. получены регионально осредненные средние многолетние месячные и годовые значения T_2 и АОТ и соответствующие коэффициенты вариации CV(%), оценены различия средних для различных периодов осреднения и вклад мощных возмущений в результаты осреднения. Выполнены оценки трендов T_2 и АОТ, рассмотрены изменения месячных и годовых значений T_2 и АОТ за периоды 1976–2010 гг. и 1994–2010 гг. Для периода относительно высокой прозрачности атмосферы (1994–2009 гг.) получены оценки суммарного изменения T_2 и АОТ в рядах месячных величин, которые представлены в виде гистограмм годового хода ΔT_2 и $\Delta \text{АОТ}$ (для отдельных станций или регионов). Для выявления и анализа кратковременных повышений мутности, отмеченных в отдельных регионах на фоне наблюдающейся в течение последних 16 лет относительно высокой прозрачности атмосферы использован метод построения обратных траекторий Hysplit 4.7 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) и космические снимки NASA.(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), NASA's Terra and Aqua satellite).

Основные закономерности пространственно-временного распределения мутности на территории России могут быть сформулированы следующим образом: В течение рассматриваемого периода наблюдается сложная картина временных изменений мутности атмосферы. Изменения T_2 и АОТ происходят, как правило, синхронно, но АОТ изменяется быстрее, чем T_2 . Наиболее высокая прозрачность атмосферы характерна для северных регионов, как на азиатской, так и на европейской территории России. Несмотря на то, что рассматриваемый период (1976–2010 гг.) относительно короткий, он может быть разбит на отдельные периоды, существенно различающиеся по условиям мутности. Выделение этих периодов производится по результатам анализа годовых и месячных рядов характеристик мутности атмосферы.

Для всех рассмотренных регионов можно констатировать, что в целом на фоне существенной межгодовой изменчивости T_2 и АОТ проявляются вполне определенные тенденции долговременных изменений. На большей части территории России в последнее тридцатилетие отмечается тенденция к уменьшению T_2 и АОТ. С 1994 г. на территории России мутность атмосферы устойчиво ниже нормы, что свидетельствует об очищении атмосферы. В период относительно высокой прозрачности в отдельных регионах России выявлены тенденции к слабому увеличению интегральной мутности при сохранении относительно низкого уровня аэрозольной составляющей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-05-01086 «Режим прозрачности атмосферы над южными регионами России: глобальные, региональные и локальные факторы формирования».

Spatial and temporal changes of the atmospheric turbidity over Russia

Makhotkina E.L.¹ (makhotk@main.mgo.rssi.ru), Plakhina I.N.² (inna@ifaran.ru)

¹A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, St.Petersburg, Karbyshev Str. 7, 194021 Saint-Petersburg, Russia

²A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Pyzhevsky 3, 119017 Moscow, Russia

Classification and generalization of data on spatial and temporal changes of the integral and aerosol atmospheric turbidity on the territory of Russia as a whole and in individual regions were performed. Linke turbidity factor T_2 and aerosol optical thickness AOT for the effective wavelength of 550 nm were used as characteristics of the atmospheric turbidity. The object of the study was the series of monthly and annual values of the turbidity factor T_2 and aerosol optical thickness AOT for the major Russian regions: North, Center, South of European Russia, the Urals and Western Siberia, the north-east, center, south the Asian territory of Russia and the Far East. To assess the variability of regionally averaged annual and monthly values of T_2 and AOT, observations of 75 stations were analyzed. For the periods 1976–1995, 1976–2010, 1994–2010 years, long-term monthly and annual means of T_2 and the AOT averaged by regions were obtained. The authors estimated the differences of means for different averaging periods and the contribution of strong perturbations to the averaging results. The estimates of trends T_2 and AOT were made, the changes of monthly and annual values of T_2 and AOT were calculated for the periods of 1976–2010 and 1994–2010 years. For a period of the relatively high transparency of the atmosphere (1994–2010) estimates were obtained for the total change in T_2 and AOT in the series of monthly values, which are presented as histograms of the annual cycle and ΔT_2 Δ AOT (for individual stations or regions). To identify and analyze short-term increases in the turbidity, noted in some regions against the relatively high atmospheric transmission observed in the past 16 years, the method for constructing backward trajectories Hysplit 4.7 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) and satellite images NASA (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), NASA's Terra and Aqua satellite) were used.

The main regularities of the spatial and temporal distribution of turbidity over Russia can be summarized as follows. During this period, a complicated pattern of temporal changes in atmospheric turbidity is observed. Changes in T_2 and AOT occur usually in sync, but the AOT changes are faster than T_2 . The highest transparency of the atmosphere is typical for the northern regions of both the Asian and the European part of Russia. Despite the fact that the period under review (1976–2010) is relatively short, it can be split into separate periods, significantly differing in terms of turbidity. Allocation of these periods is based on the analysis of annual and monthly series of atmospheric turbidity characteristics.

For all these regions it can be stated that in general, against the background of significant interannual variability of T_2 and AOT, the well-defined trend of long-term changes appears. In most parts of Russia over the past thirty years, there is a tendency to a decrease in T_2 and AOT. Since 1994, the turbidity of the atmosphere over Russia is stable below normal, indicating the purification of the atmosphere. In the period of relatively high transparency in some Russian regions, a trend is shown toward a slight increase in the turbidity, while maintaining a relatively low level of the aerosol component.

This work was supported by RFBR grant № 10-05-01086 "The regime of transparency of the atmosphere over the southern regions of Russia: global, regional and local factors shaping".

Многолетние изменения солнечной радиации в Украине

Рыбченко Л.С. (L-Rybchenko@yandex.ru)

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

В настоящее время накоплен пятидесятилетний период наблюдений (1961–2010 гг.) за составляющими радиационного баланса на актинометрической сети Украины. Актинометрические данные климатического кадастра за 1961–1990 гг. дополнены двадцатилетним периодом наблюдений 1991–2010 гг., в течение которого произошли изменения относительно стандартной климатологической нормы. Проведено сравнение прямой, рассеянной и суммарной радиации, альбедо и радиационного баланса подстилающей поверхности по двум периодам.

За последнее двадцатилетие отмечено изменение составляющих суммарной радиации – прямой и рассеянной относительно стандартной климатологической нормы 1961–1990 гг. Уменьшение прямой радиации наблюдается зимой, наибольшее на севере и в центре. Весной снижение прямой радиации произошло в марте более значительное на севере и северо-западе. Осенью она уменьшилась на большинстве территории. Увеличение прямой солнечной радиации отмечалось с мая и в летние месяцы, а также в конце года в декабре. За год прямая радиация повсюду увеличилась. За весь период наблюдений за 1961–2010 гг. наименьшие суммы прямой радиации наблюдались в пятилетие 1976–1980 гг., а наибольшие в 1961–1965 гг., на значительной части – максимальные в 2006–2010 гг. Рассеянная радиация уменьшилась в последнее двадцатилетие почти во все месяцы года повсеместно, но ее изменения были намного меньше, чем прямой. Суммарная радиация уменьшилась в холодный период года, более существенно на севере и западе. В центре, на западе и юге отмечены положительные и отрицательные колебания суммарной радиации в течение года относительно стандарта 1961–1990 гг.

Альбедо подстилающей поверхности после 1991 г. увеличивалось во все сезоны относительно стандарта 1961–1991 гг. В последнее десятилетие (начало XXI ст.) отмечено его уменьшение. Радиационный баланс в результате изменения его составляющих увеличился, кроме зимы, по всей территории.

Климатология длинноволнового баланса

Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru)

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

Climatology of the surface thermal balance

Gorbarenko E.V. (catgor@mail.ru)

Lomonosov Moscow State University, Russia

Как показали результаты анализа многолетних (1958–2010 гг.) наблюдений в Метеорологической Обсерватории МГУ (МО МГУ) за радиационным балансом подстилающей поверхности (B), положительный линейный тренд B имеет ярко выраженный годовой и суточный ход: наибольшие изменения отмечены в ночные часы зимних месяцев, т.е. в период, когда B определяется длинноволновым балансом (B_δ). Для Москвы в течение 6 месяцев больше половины суток радиационный баланс – длинноволновый. Эти факты вызвали интерес к исследованию B_δ .

Длинноволновый баланс или эффективное излучение ($E_{эф}$) земной поверхности в МО МГУ непосредственно не измеряется. Для дневных часов длинноволновый баланс рассчитывался как разность между измеренным общим радиационным балансом и поглощенной радиацией (разница между суммарной и отраженной коротковолновой

радиацией). По данным метеорологических наблюдений за температурой поверхности почвы рассчитано собственное излучение поверхности (E_n) и как разность между B_δ и E_n определялось противоизлучение атмосферы (E_a).

На основе этих данных получены климатические нормы и оценены пределы изменчивости (суточной, годовой, межгодовой) B_δ и E_a . Получены корреляционные зависимости между противоизлучением атмосферы и факторами, определяющими его изменчивость (упругость водяного пара, температура поверхности почвы и воздуха, нижняя и общая облачность). Увеличение B_δ определяется увеличением противоизлучения атмосферы, т.к. собственное излучение земной поверхности в связи с ростом температуры, наблюдаемой по данным МО МГУ, может только расти. Увеличение противоизлучения атмосферы происходит за счет роста облачности и общего влагосодержания атмосферы, а также, вероятно, за счет увеличения содержания в атмосфере парниковых газов. В дневные и ночные часы летних месяцев это увеличение не так заметно, так как велики значения E_n . В зимние месяцы значения ночных часовых сумм E_n и E_a могут быть сопоставимы, что и определяет проявление тенденций увеличения B_δ в этот период. Положительная значимая связь противоизлучения атмосферы с температурой поверхности почвы и воздуха в зимние месяцы указывает на усиление парникового эффекта атмосферы.

Полученные результаты могут служить основой для сохранения однородности ряда наблюдений за B_δ при переходе к непосредственному измерению длинноволнового баланса в МО МГУ.

Тенденция роста радиационного баланса Земли

Никольский Г.А. (gnik777@mail.ru)

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

The up trend of the Earth radiation balance

Nikolsky G.A. (gnik777@mail.ru)

St. Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St. Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

До XX века среднегодовое значение радиационного баланса Земли (РБЗ) и его знак характеризовали направленность и меру отклонения системы «земная поверхность-атмосфера» от теплового равновесия только в ее взаимодействии с Космосом. Солнце и глубины Космоса практически полностью определяли состояние и динамику климата Земли. В последующий период времени все большее воздействие на климат оказывает неупорядоченная антропоная активность. Исследования РБЗ со стационарных спутников свидетельствуют о продолжении, хотя и слабой, положительной тенденции, отмеченной еще в 80-х годах XX века.

Однако ситуация с положительным РБЗ начала усугубляться в связи с идентификацией в 2002–2003 гг. потоков солнечного и земного (переизлученного) спирально вихревого излучения (СВИ), индивидуальный баланс которых, несомненно, положителен. Дополнение в РБЗ положительного компонента не идет в разрез с наблюдаемым потеплением, с ускорением процесса таяния ледников в Антарктике и Гренландии и накоплением теплозапаса в глубинах полярных районов Мирового океана. Максимальные скорости таяния ледников Антарктики, очевидно, связаны с тем, что она окружена Мировым Океаном, и полярный транспорт тепла направлен к ней из трех гигантских океанов: Тихого, Индийского и Атлантического, в экваториальных районах которых происходит интенсивное накопление энергии вихревых солнечного и земного излучений. Процессы такого рода длительный период оставались скрытыми от объективов спутниковых радиометров, измеряющих потоки уходящей длинноволновой радиации (УДР), поскольку перенос нагретых масс происходил на глубинах от 200 до 50 м при продвижении их к полярным широтам. Таким образом,

Мировой Океан – это глобальный резервуар со “сверхнормативным” пополнением за счет поглощения СВЧ с периодичностями, присущими солнечной активности. Поглощение СВЧ в мантии и ядре Земли также вполне значимо по сравнению с другими источниками, например, с α -распадом. По-видимому, грядет глобальный разогрев всей системы. Некоторое снижение темпа таяния полярных льдов в последние годы очевидно связано с аномальной продолжительностью периода низкой солнечной активности при переходе от 23 к 24 циклу (2006–2010 гг.).

Для выяснения положения с вкладом земного вихревого излучения в РБЗ необходимо вернуться к работам С.М. Крылова (ИФЗ РАН, 1989–2003 гг.), в которых удалось строго доказать постоянное присутствие вихревых неэлектромагнитных излучений, регистрируемых на поверхности и обладающих различными волновыми, частотными и амплитудными параметрами. Выделено четыре характерных вида вихревого излучения, два из которых имеют отношение к Космосу, а остальные два выходят из глубин Земли. Все эти четыре вида вихревого излучения обнаруживаются в разных местах и в разное время независимо друг от друга, но имеют и общие свойства: обладают импульсом и угловым моментом и на регистрограмме предстают либо в виде фликкер-шума, либо в хаотично импульсной структуре. Энергетика последнего типа вихревого излучения может быть очень мощной, особенно в тектонически-активных районах. С.М. Крылов приходит к важному выводу о быстром возрастании эффективности передачи углового момента вихревым полем структурам вещества по мере уменьшения масштаба закручиваемого объекта, вплоть до компонентов ядра атома. То есть, мощный поток когерентного СВЧ производит α -распад.

Алгоритм фильтрации облачности по временному ряду прямой интегральной солнечной радиации

Окулов О. (oleg.okulov@emhi.ee), Охвиль Х., Нейман Л.

Озерная Станция Тийрика, Институт Метеорологии и Гидрологии Эстонии; ул. Нарвская д. 108, 49604 г. Муствеэ, уезд Йыгевамаа, Эстония

Автоматизация измерений прямой солнечной радиации приводит исследователей оптических свойств атмосферы к ситуации, когда пригодные для анализа измерения при непокрытом облаками солнечном диске «спрятаны» среди огромного количества бесполезных данных. Процесс фильтрации осложняется дневным ходом измеряемых величин, изменением спектрального состава солнечной радиации, возможностью отклонения прибора от направления на Солнце и попаданием посторонних предметов на приёмное отверстие измерительного прибора: насекомые, пыль, атмосферные осадки, конденсат. Фильтрация автоматически измеренных актинометрических рядов стала важной научной задачей, у которой нет простого решения.

Автоматическая регистрация прямой солнечной радиации в Эстонии производится на двух метеорологических станциях Института Метеорологии и Гидрологии Эстонии: Тарту-Тыравере, с 1999 г., и Озерной Станции Тийрика, с 2004 г. В Тыравере наблюдатель не следит за состоянием солнечного диска, а оценивает лишь баллы облачности и тип облаков. Затем, вручную выбираются значения радиации, соответствующие чистому от облаков солнечному диску, с использованием данных наблюдателя по облачности и графика дневного хода прямой радиации. В Тийрика за состоянием солнечного диска следит наблюдатель, но время его работы с каждым годом сокращается, и качество актинометрических данных снижается. Применение автоматической фильтрации явилось бы дополнительной возможностью для оценки состояния диска солнца.

Для настройки параметров фильтра была проанализирована изменчивость Интегрального Коэффициента Прозрачности Атмосферы, приведенного к высоте Солнца 30° — ИКПА p_2 на станции Тийрика в течение дня с 1955 по 2003 г. В зависимости от минимального значения p_2 за день была определена максимально допустимая скорость

изменения p_2 в этот день, обусловленная изменчивостью аэрозольного ослабления и ослабления прямой радиации водяным паром. Оказалось, что чем выше минимальное за день значение p_2 , тем меньше изменчивость p_2 в этот день и, соответственно, меньше скорость изменения p_2 . И наоборот – со снижением p_2 увеличивается и изменчивость p_2 . Фильтр, основанный на изменчивости p_2 , дает хорошие результаты при расчете среднедневных значений p_2 – среднеквадратическое отклонение от дневных значений p_2 , выбранных предварительно вручную, составляет 0.006 и коэффициент корреляции 99 %. Совпадение среднемесячных значений p_2 немного хуже – среднеквадратическое отклонение 0.015 и коэффициент корреляции 91 %. Это связано с тем, что при расчёте среднемесячных значений фильтр учитывает не только те дни, которые выбраны при ручной обработке с большой продолжительностью солнечного сияния, но и другие дни, возможно с трудноразличимыми перистыми облаками. Бо́льшую сходимость между ручной обработкой и фильтрацией можно достичь более строгими параметрами фильтра.

Cloud-screening algorithm for time series of broadband direct solar radiation

Okulov O. (oleg.okulov@emhi.ee), Ohvril H., Neiman L.

Tiirikoja Lake Station, Estonian Meteorological and Hydrological Institute, Narva str. 108, 49604 Mustvee, Jõgevamaa, Estonia

Automatization of measurements of solar radiation have led to situation, when measurements at clear, cloud free solar disc are "hidden" among a huge amount of useless data. Cloud-screening is aggravated by diurnal courses of solar radiation, variation in spectral composition, possible deviation of measuring device from direction to Sun and, invasion of contamination to inlet of device: insects, dust, precipitation, condensate. Filtration of automatically measured actinometrical time series has become an important scientific task which doesn't have an easy solution.

Automatic registration of direct solar radiation is now performed at two meteorological stations of Estonian Meteorological and Hydrological Institute: Tartu-Tõravere, from 1999 and Tiirikoja Lake Station, from 2004. At Tõravere, an observer doesn't watch state of solar disc, but just registers cloud amount and type. Afterwards, using observed data on cloudiness and diurnal course of direct solar radiation, appropriate readings of solar radiation at cloud free solar disc are extracted. At Tiirikoja an observer watches state of solar disc, but his working hours have been reduced almost every year and quality of actinometric data goes down. Application of automatic screening would serve as an additional possibility for assessment of solar disk state.

For adjustment of screening parameters variability of Atmospheric Integral Transparency Coefficient reduced to solar elevation angle 30° — AITC p_2 at Tiirikoja during a day from 1955 to 2003 was used. In accordance to minimum value of p_2 during a day, a maximum speed of p_2 variability is defined. Variability of AITC p_2 can occur because of attenuation by aerosols and water vapor. It appeared that higher minimum values of p_2 correspond to less variability of p_2 during that day and to less speed of p_2 changes. And vice versa, lower p_2 values produce a greater p_2 variability. This screening method, based on variability of p_2 , gives good results in calculations of daily means of p_2 – standard deviation from manually selected values is 0.006 and correlation coefficient is 99 %. Coincidence of monthly means of p_2 is little bit worse – standard deviation is 0.015 and correlation coefficient is 91 %. This mismatch happens because screening process uses more days then observer by manual selection. In the cases of very high aerosol loading some cirrus might remain undetected, but they would be of relatively low optical depth. Better coincidence between manual selection and automatic screening can be achieved using more rigorous threshold parameters.

К вопросу о некотором несоответствии многолетних изменений продолжительности солнечного сияния и облачности

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

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак-т, Воробьёвы Горы, 119992
Москва, Россия*

On the issue of some disagreement between multiyear variations of the duration of solar irradiance and cloudiness

Gorbarenko E.V. (catgor@mail.ru), Abakumova G.M., Bunina N.A.

Lomonosov Moscow State University, Russia

Климатические характеристики облачности, продолжительности солнечного сияния (ПСС), количества пасмурных и ясных дней позволяют качественно оценить потенциальные возможности того или иного района с точки зрения поступления солнечной энергии. Вариации месячных и годовых значений ПСС обусловлены астрономическими факторами, определяющими длину дня, изменчивостью метеорологических условий, прежде всего режима облачности, и закрытостью горизонта.

В предложенной работе дан детальный анализ продолжительности солнечного сияния (дневной, годовой ход, оценка межгодовой изменчивости) по данным Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) о ПСС за 1955–2010 гг. По соотношению максимальных и теоретически возможных суточных сумм ПСС дана оценка влиянию затенения актинометрической площадки МО МГУ.

Существует тесная отрицательная связь между месячными значениями ПСС и количеством общей и нижней облачности. Облачность регулирует и ежегодную изменчивость ПСС. Но при детальном анализе вариаций ПСС и облачности выявилось некоторое несоответствие в многолетних изменениях их тенденций. По многолетним наблюдениям МО МГУ при тенденции к увеличению ПСС облачность имеет такую же тенденцию. Для выяснения причин такого несоответствия были проанализированы многолетние изменения повторяемости различных градаций баллов облаков, являющейся показательной характеристикой облачности. Увеличение количества общей и нижней облачности обусловлено увеличением повторяемости градации 8–[10] (десять с просветами) баллов и уменьшением повторяемости градации 0–2 балла как для общей, так и для нижней облачности. Повторяемость градации 3–7 баллов для общей облачности уменьшается, а для нижней облачности растет. При таких баллах как общей, так и нижней облачности солнечный диск может быть не закрыт облаками и прямые солнечные лучи освещают земную поверхность. Солнечный диск полностью закрыт облаками в условиях пасмурного неба – 10 баллов нижней и общей облачности (10/10). За последние 15 лет отмечается существенное уменьшение (более, чем в два раза) повторяемости пасмурного неба, что и явилось причиной увеличения ПСС.

Продолжительность солнечного сияния в Украине в современных условиях

Рыбченко Л.С. (L-Rybchenko@yandex.ru), Савчук С.В.

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

Продолжительность солнечного сияния, как важный параметр радиационного режима, дополняет анализ изменений солнечной радиации на территории Украины. За последний период 1991–2008 гг. выявлены колебания продолжительности солнечного сияния относительно стандартной климатологической нормы 1961–1990 гг.

Проведена оценка изменений продолжительности солнечного сияния на основании расчета и анализа линейных трендов. Для временных рядов месячных и годовых значений определены статистические характеристики, рассмотрены средние значения для двух периодов (1961–1990 гг., 1991–2008 гг.), средние по пятилетиям. Построены месячные, сезонные, для теплого и холодного периода, годовые карты распределения продолжительности солнечного сияния по территории (1961–1990 гг., 1991–2008 гг.) а также карты отклонений за последнее восемнадцатилетие относительно 1961–1990 гг.

За 1991–2008 гг. произошли изменения продолжительности солнечного сияния по всей территории относительно 1961–1990 гг. Отрицательные отклонения отмечались зимой (январь) и осенью (сентябрь, октябрь). Увеличение продолжительности солнечного сияния наблюдалось с февраля по август, а также в ноябре и декабре. Однако для некоторых станций побережья Черного и Азовского морей число часов солнечного сияния уменьшилось в июне. Существенное увеличение продолжительности солнечного сияния весной и летом наблюдалось в Украинских Карпатах, Закарпатье и Предкарпатье. Годовые значения для большинства территории увеличились.

Минимум продолжительности солнечного сияния для длиннорядных станций (более чем за столетний период измерений) отмечался в 1912 г., а второй – для всех станций в 1980 г. Максимум наблюдался в 1963 г. Анализ данных по пятилетиям показал, что наименьшая продолжительность выявлена в 1976–1980 гг. а наибольшая – в 1961–1965 гг. С середины 80-х годов XX ст. отмечено увеличение числа часов солнечного сияния для большинства станций.

Оценки биологически активной УФ радиации при ясном небе

Жданова Е.Ю. (ekaterinazhdanova214@gmail.com), Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)
*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак-т, Воробьевы Горы, 119992
Москва, Россия*

Biologically active UV irradiance in clear sky conditions

Zhdanova Ye.Yu., Chubarova N.Ye.
Lomonosov Moscow State University, Russia

В работе получены оценки влияния различных факторов (высоты Солнца, общего содержания озона, оптических свойств аэрозоля и облачности, альbedo поверхности) на различные виды биологически активной ультрафиолетовой радиации: эритемной радиации (Q_{ery} , CIE, 1993), большие дозы которой действуют отрицательно на здоровье человека, и УФ радиации, способствующей образованию витамина D в коже человека (Q_{vitD} , CIE, 2006).

Для решения поставленной задачи использовался модифицированный программный комплекс TUV с применением метода дискретных ординат в восьмипотоковом приближении, а также данные измерений эритемной УФ радиации, выполненных в метеорологической обсерватории МГУ.

Выявлено, что высота Солнца и общее содержание озона определяют наибольшие различия между Q_{ery} и Q_{vitD} . Показано, что Q_{vitD} и Q_{ery} также имеют разный характер чувствительности к общему содержанию озона в зависимости от высоты Солнца. Модельные оценки чувствительности Q_{ery} и Q_{vitD} к вариациям аэрозольной и облачной оптических толщин, а также альbedo поверхности показали незначительные различия.

Созданы электронные таблицы УФ радиации, которые рассчитывались для набора различных параметров при их детальном разрешении. Расчеты велись с помощью суперкомпьютера СКИФ МГУ «ЧЕБЫШЁВ». Большое внимание уделено выбору распределения аэрозольных характеристик атмосферы и альbedo поверхности.

В результате были получены карты распределения биологически активной УФ радиации с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ для условий ясного неба. Исследовано влияние различных

атмосферных факторов на вариации УФ радиации в разных регионах России. В частности, показано, что за счет изменения общего содержания озона околополуденные часовые суммы эритемной радиации могут изменяться до 45 %, за счет аэрозольной оптической толщины – до 20 %, за счет пространственного альбедо поверхности – до 30 %.

Исследование было частично поддержано грантом РФФИ 09-05-00582.

Характер изменений суммарной солнечной радиации в Европе за последние сорок лет

Цветков А.В. (tsvetkov@main.mgo.rssi.ru), Самукова Е.А. (wrdc@main.mgo.rssi.ru)

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

Архив Мирового центра радиационных данных (МЦРД) по солнечной радиации предоставляет уникальную возможность проводить анализ однородности длительных рядов наблюдений на станциях мировой актинометрической сети и изучать пространственно-временную изменчивость на интервале лет с 1964 года по настоящее время.

В данной работе представлены результаты анализа изменений коротковолновой суммарной солнечной радиации в сезонных и годовых рядах наблюдений на 64 станциях Европы за период 1970–2009 годы и на 119 станциях за период 1990–2009 годы, данные которых имеются в архиве МЦРД. Тенденции изменений радиации оценивались с помощью линейных регрессий, для коэффициентов которых доверительные вероятности определялись в соответствии с t -критерием Стьюдента. Оценкам соответствующих линейных трендов предшествовал анализ однородности рядов наблюдений. Для этих целей были использованы критерии Стьюдента, Вилкоксона, Вальда-Вольфовица и Александерсона (SNHT). При построении выводов относительно однородности была использована информация о метаданных станций.

Тенденция к относительному росту поступающей солнечной радиации за 1970–2009 годы была отмечена на 43 станциях из 64, расположенных в основном в центральной Европе. Коэффициенты линейных трендов на 21 станции являются статистически значимыми. На этих станциях годовые значения суммарная радиация возросли в среднем на 1–4 % за 10 лет. Наибольшие изменения радиационных величин наблюдаются в весенне-летний период (около 2–5 %). Однако, в осенне-зимний период отмечается преобладание отрицательных линейных трендов, что связано с увеличением облачности в это время года. В северной Европе во все сезоны, за исключением весеннего, преобладают тренды уменьшения суммарной радиации. Доверительная вероятность этих трендов, как правило, менее 90 %.

Положительная тенденция в изменении суммарной солнечной радиации усиливается в последнее двадцатилетие. Доверительная вероятность коэффициентов линейных трендов положительного знака увеличилась во все сезоны года, в особенности в весенний и осенний периоды. Годовые величины суммарной радиации возросли в среднем на 2–5 %, сезонные значения – до 11 %.

Наиболее существенные изменения величин суммарной радиации по сравнению с 1970–1989 годами произошли в поступлении солнечной радиации в осенний период, на большинстве станций произошла смена знака тренда. В зоне исландского минимума значимый отрицательный тренд суммарной радиации в этот сезон сохранился. Наличие отрицательных трендов в рядах суммарной радиации некоторых станций предположительно связано с ростом облачности и уменьшением прозрачности атмосферы. Наибольшая тенденция к уменьшению радиации на ряде станций отмечается в зимний период.

Таким образом, результаты анализа временной изменчивости радиационных рядов согласуются с выводами российских и зарубежных исследований о наметившейся тенденции увеличения солнечной радиации, начиная с 1990-х годов. Этот рост связан с уменьшением

мутности атмосферы в ряде регионов Земного шара, в том числе и в Европе, и вариациями облачности.

The peculiarity of global radiation changes in Europe in recent 40 years

Tsvetkov A.V. (tsvetkov@main.mgo.rssi.ru), Samukova E.A. (wrdc@main.mgo.rssi.ru)
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, WRDC, St.Petersburg, Karbyshev Str. 7, 194021 Saint-Petersburg, Russia

The archive of the World Radiation Data Center (WRDC) on solar radiation offers a unique opportunity to analyze the homogeneity of long-term observation series at the world radiometric network stations and to study the space-time variability during the period since 1964 up to now.

This paper presents the results of analyzing the changes of shortwave global radiation in the seasonal and annual series of observations at 64 stations in Europe over the period 1970–2009 and at 119 stations over the period 1990–2009 which are available at the WRDC archive. The radiation changes tendencies were estimated using linear regressions for the coefficients of which the confidence probabilities were determined according to Student t-criterion. The estimations of relevant linear trends were preceded by analyzing the observation series homogeneity. To this effect the t-test, Wilcoxon, Wald-Wolfowitz tests and Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) were used. The metadata of stations was used for making decisions concerning the homogeneity time series.

The tendency to the increase of solar radiation for 1970–2009 was observed at 43 stations from among 64 located basically in the Central Europe. The coefficients of linear trends at 21 stations are statistically significant. The annual values of global radiation at these stations increased, on the average, by 1–4 % per decade. The maximum changes of radiation values are observed in the spring-summer season (about 2–5 %). However in the autumn-winter season the prevalence of negative linear trends is observed, which fact is related to the increase of cloudiness at this time of year. In the North Europe in all seasons, except for spring, the trends of global radiation decrease prevail. The confidence probability of these trends is less than 90 %, as a rule.

The positive tendency in the global radiation change increases during the recent twenty years. The confidence probability of the coefficients of linear trends with positive sign increased in all seasons of year, in particular in the spring and autumn seasons. The annual values of global radiation increased on the average by 2–5 %, the seasonal values increased by up to 11 %.

The most significant changes of the global radiation values as compared to the period of 1970–1989 took place in the inflow of solar radiation in the autumn season; the trend sign changed at most stations. The significant negative trend of global radiation remained in this season in the Iceland Minimum zone. The presence of negative trends in the series of global radiation at some stations is estimated to be due to cloudiness growth and atmosphere transparency decrease. The maximum tendency to radiation decrease at some stations is observed in the winter season.

Thus, the results of analyzing the temporal variability of radiation series agree with the conclusions of Russian and foreign studies on the tendency, beginning to show, to the increase of solar radiation as from the 1990'es. This growth is related to the decrease of atmospheric turbidity in some regions of the Earth, including Europe, and cloudiness variations.

Пространственно-временная изменчивость приходящей суммарной солнечной радиации на территории Западной Сибири

Скляднева Т.К.¹ (tatyana@iao.ru), Аршинов М.Ю.^{1,2}, Белан Б.Д.¹, Давыдов Д.К.¹,
Фофонов А.В.¹, Machida T.³, Sasakawa M.³

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

²Томский государственный университет, Томск, Россия

³Национальный институт исследования окружающей среды, Цукуба, Япония

В рамках Международного Российско-Японского проекта «Башни» (TOWERS) на территории Западной Сибири развернута сеть пунктов измерения концентрации парниковых газов, а также основных метеопараметров и суммарной солнечной радиации. Оборудование размещено на стационарных высотных мачтах, расположенных в окрестностях семи пунктов: ст. Карасевое; пгт. Игрим, Ханты-Мансийский АО; пос. Демьянское, Тюменская обл.; г. Ноябрьск, Ямало-Ненецкий АО; д. Саввушка, Алтайский край; пос. Азово, Омская обл.; д. Ваганово, Челябинская обл. [1].

В докладе представлены результаты мониторинга суммарной солнечной радиации (Q), проводимого с помощью пиранометров Kipp&Zonen Model CM3 (спектральный диапазон измерения 305–2800 нм) в вышеуказанных пунктах с 2004 по 2010 г. Ряды наблюдения на каждом из постов различны: самый длительный – в районе ст. Карасевое (6.5 лет), а самый короткий – в д. Ваганово (2.5 года). Данное обстоятельство не позволяет говорить о долговременных изменениях суммарной солнечной радиации на территории Западной Сибири. Поэтому в докладе рассмотрены только годовые и суточные ее изменения, а также пространственное распределение по среднемесячным значениям для основных сезонов года.

Анализ исходных данных показал, что наблюдается широтная зависимость распределения Q . Максимальное годовое поступление суммарной радиации зарегистрировано в д. Саввушка (4670 МДж/м²), а минимальное – в районе г. Ноябрьска (3053 МДж/м²). Во всех пунктах наблюдения максимальное месячное поступление Q отмечено в июле с коэффициентом вариации 5–10 %.

Анализ изменчивости поступления Q в течение суток показал, что общей закономерностью для всех пунктов измерения является максимальные вариации величин суммарной солнечной радиации в утренние и вечерние часы, минимальные в дневное и околополуденное время. Амплитуда суточных колебаний Q возрастает от зимы к лету. Наблюдается асимметрия суточного хода относительно полудня на всех пунктах измерения.

Работа выполнена при поддержке Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии, программы Президиума РАН № 4, грантов РФФИ № 11-05-00470 и 11-05-00516, госконтрактов Минобрнауки № 02.740.11.0674 и 14.740.11.0204

1. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др. Организация мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу компонент над территорией Сибири и некоторые его результаты. 1. Газовый состав.

Оптика атмосферы и океана, 2006, **19**, 11, 948–955.

Сорок пять лет мониторингу естественной освещенности в Метеообсерватории МГУ

Шиловцева О.А. (shil_o@mail.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Ленинские горы, 119991

Москва, Россия

Метеорологическая обсерватория МГУ (МО МГУ) проводит наблюдения за естественной освещенностью земной поверхности с 1964 года. Анализ состояния мировой сети наблюдений за освещенностью (в которую включена и МО МГУ) показал, что это самый продолжительный ряд наблюдений за этим параметром природной среды. До 2001 года наблюдения проводились оригинальным прибором РЕО, сконструированным в МОМГУ

мастером по точным приборам А.В. Высоцким. В настоящее время в наблюдениях наряду с РЕО используются люксметр ГГО и LI-210SL американской фирмы LI-COR. Измерялись суммарная и рассеянная освещенность, прямая освещенность, приходящая на горизонтальную поверхность, определялась как разность между ними.

Представлен подробный анализ светового режима г. Москвы. Получены средние оценки и характеристики изменчивости количества освещения в течение суток, месяца, сезона и года как при безоблачном небе, так и при сплошных облаках разных форм, и в среднем за весь период наблюдений. Нормы околополуденной суммарной освещенности (EQ) в течение года изменяются от 8 клк в декабре до 63 клк в июне, при этом на долю рассеянного света (ED) приходится от 85 % до 55 % соответственно. При безоблачном небе в среднем освещенность в полдень летом достигает 85–90 клк, причем вклад ED в EQ при этом уменьшается до 20–25 %. Зимой при минимальной высоте солнца полуденные значения освещенности в ясный полдень 13–14 клк, причем доля ED возрастает уже до 50 %. Влияние облачности приводит к тому, что естественная освещенность в течение дня сильно изменяется. Проведена оценка изменчивости освещения в течение суток в зависимости от количества и формы облаков на примере июня. Максимальная освещенность суммарным светом достигает 140 клк, а рассеянная – 90 клк.

Дневное количество освещения суммарным светом в течение года в среднем возрастает примерно в 20 раз: от 33 в декабре до 620 клк·час в июне. По сравнению с условиями ясного неба облачность ослабляет EQ на 25–50 %. Коэффициент вариации EQ имеет годовой ход, изменяясь от 65 % в ноябре до 32 % в июне. Летом вклад рассеянного света в среднюю дневную сумму EQ составляет 55–60 %, возрастая до 90 % зимой. В течение лета сезонное количество освещения суммарным светом в Москве составляет 51 Млк·час, весной – 37 Млк·час, осенью – 15 Млк·час, зимой – 6 Млк·час, что составляет соответственно 47, 34, 14 и 5 % соответственно от годовой суммы EQ . На долю ED в ней приходится в среднем 58 %.

Анализ многолетней изменчивости суммарной освещенности показал, что в целом за год световой поток за период с 1964 по 2010 г. не имеет ясно выраженной тенденции изменения (+ 2 % за 47 лет). Можно лишь с уверенностью сказать, что в 1960-х–первой половине 1970-х гг. и в 2000-х гг. уровень освещения был несколько выше, чем в 1980–1990-х гг. Однако анализ изменения со временем количества суммарного освещения за месяц показал, что в разные месяцы имеют место разнонаправленные тренды в изменении светового режима. Так, статистически значимый рост EQ отмечается только в апреле (величина тренда составила $\Delta EQ = 280$ клк·час/10 лет с уровнем значимости $P = 0.95$). Наоборот, существенное уменьшение суммарного освещения наблюдается в январе ($\Delta EQ = 62$ клк·час/10 лет с уровнем значимости $P = 0.95$). Заметный рост EQ ($P > 0.80$) отмечен в июле, а уменьшение – в феврале и июне. В остальные месяцы тренды получились статистически незначимыми.

Forty-five years of the natural illuminance monitoring in the Meteorological Observatory of Moscow State University

Shilovtseva O.A. (shil_o@mail.ru)

Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, 119991 Moscow, Russia

The observations of natural illuminance (NE) in Meteorological Observatory of Moscow State University (MO MSU) are carried out since 1964. The analysis of the global illuminance observation network (in which MO MSU is included) has shown that MO MSU has the longest series of the NE observations. Before 2001, the NE observations were made by the original devices REO, constructed in MOMGU by the engineer Anatoliy Vysotsky. Today two another devices, such as luxmeter MGO and LI-210SL of American company LI-COR, are used too. The total (EQ) and

diffuse (*ED*) illuminance were measured, while the direct one (*ES*) coming on a horizontal surface was determined as the difference between them.

In the present work it is represented the detailed analysis of the light regime in Moscow. The average values of *EQ*, *ED* and *ES* and the characteristics of their variability during the day, month, season and year were received under the cloudless sky and overcast conditions as well as the average for the all observation period. For example, the norms of the midday total illuminance during the year vary from 8 klx in December to 63 klx in June, herewith the fraction of the scattered light *ED* is between 85 % and 55 % respectively.

Under cloudless sky the average illumination at the noon in summer reaches 85–90 klx, minding that the portion of *ED* in *EQ* is decreased to 20–25 %. In winter, when solar elevation is on its minimum, illumination in a clear day is 13–14 klx, the portion of *ED* is increased to 50 %. The influence of clouds leads to the great variability of the day course of *NE*. The typing of *NE* day course depending on the cloud amount and form in June is presented.

Maximum illumination of the *EQ* is up to 140 klx and *ED* – 90 klx. Mean daily sums of *EQ* increase 20 times within a year: from 33 in December to 620 klx·hour in June. Compared to the clear sky conditions clouds reduce *EQ* by 25–50 %. Coefficient of *EQ* daily sums variation has a annual course, ranging from 65 % in November to 32 % in June. In summer the contribution of diffuse light in the average daily sums of *EQ* is 55–60 %, increasing to 90 % in winter. During the summer the *EQ* norm in Moscow is 51 Mlx·hour, in spring – 37 Mlx·hour, in fall – 15 Mlx·hour, in winter – 6 Mlx·hour, which is 47, 34, 14 and 5 % respectively of the annual amount of *EQ*. On average the portion of *ED* in the annual amount of *EQ* is near 58 %.

The analysis of long-term variability of annual sums of *EQ* obviously showed the absence of the clearly pronounced linear trends for the period from 1964 to 2010 (+ 2 % during the last 47 years). The only thing that can be claimed for sure is that during 1960th–the first half of the 1970th and 2000th lighting level was slightly higher than in 1980–1990th. However, within the year the *EQ* monthly sums tendencies are different from month to month. Thus, a statistically significant increase of *EQ* is marked only in April (the value of the trend is $\Delta EQ = 280 \text{ klx} \cdot \text{hour} / 10 \text{ years}$, with a significance level of $P = 0.95$). On the contrary, a significant decrease in *EQ* monthly sums is observed in January ($\Delta EQ = 62 \text{ klx} \cdot \text{hour} / 10 \text{ years}$, with a significance level of $P = 0.95$). On the contrary, a significant increase in *EQ* (with $P > 0.80$) was found in July, and decrease – in February and June. The trends of the remaining months are statistically insignificant.

In conclusion, we want to note that nowadays the MO MSU is the only station on the territory of the Russian Federation, where so lengthy, regular and detailed observations of *NE* are held and are continued to being held. It provides an opportunity to improve the indirect methods of the *NE* estimation for the areas with a lack of such observations.

Многолетние изменения радиационных параметров атмосферы в Москве

Шиловцева О.А. (shil_o@mail.ru), Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Ленинские горы, 119991
Москва, Россия

В связи с возросшей интенсивностью использования природных ресурсов природной среды необходима оценка климатических ресурсов солнечной радиации – главного климатообразующего фактора, одного из основных возобновляемых источников энергии и одного из основных показателей гелиоэнергетических ресурсов. Как бы ни были совершенны аналитические и численные методы решения радиационных задач, успешность прогнозов климатических изменений определяется надёжностью и достоверностью исходных данных о радиационных параметрах атмосферы. Именно наземные многолетние измерения солнечной радиации, проводимые на мировой сети актинометрических станций,

являются главным средством оценки радиационных параметров атмосферы и их временной изменчивости.

Более 50 лет ведутся работы по изучению солнечной радиации в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ). Представлены результаты многолетнего мониторинга за радиационными характеристиками атмосферы. Проанализированы тренды радиационных параметров атмосферы в безоблачной и облачной атмосфере. Получено, что за период 1955–2007 гг. коэффициент прозрачности атмосферы P_2 вырос на 2 %; а аэрозольная оптическая толщина атмосферы уменьшилась на 39 %. При этом наблюдается статистически значимый положительный линейный тренд влагосодержания атмосферы $W = +9\%$ при доверительной вероятности тренда 99 %.

При безоблачном небе наблюдается статистически незначимый рост (на 5 %) прямой интегральной радиации S' , статистически значимое уменьшение рассеянной интегральной радиации D (на 15 %) и рассеянной УФР (на 7 % за 1968–2003 гг.), положительный линейный тренд отношения S'/D прямой УФР (на 27 % за 1968–2003 гг.) и суммарной ФАР (на 3 % за 1980–2001 гг.). Линейный тренд в изменении суммарной интегральной и УФ радиация практически отсутствует, а рост ФАР на 4 % за 20 лет оказался значим ($P = 0.95$).

При средних условиях облачности наблюдается статистически незначимая тенденция к уменьшению годовых сумм суммарной интегральной радиации Q (на 2 %), к увеличению годовых сумм прямой S' (на 2 %) и поглощённой B_k (на 3 %) радиации. Тренд статистически значим для годовых сумм рассеянной интегральной радиации D (– 6 %), отражённой радиации R_k (– 16 %) и радиационного баланса B (14 %). Тренд годовых сумм ФАР положительный, но статистически незначим. Тренд для суммарной УФР отсутствует.

Отмечается статистически значимая тенденция к уменьшению на 15 % средних годовых значений альбеда подстилающей поверхности A_k . Уменьшение A_k наблюдается во все месяцы, за исключением апреля, и самое значительное отмечается в октябре (на 24 %).

Статистически значимый положительный линейный тренд годовых сумм радиационного баланса B (на 14 %) происходит за счёт роста годовых сумм поглощённой радиации B_k (на 3 %) и эффективного излучения земной поверхности $E_{эф}$ (на 7 %). Положительный линейный тренд B , B_k и $E_{эф}$ имеет годовой ход. Максимальный рост отмечен в зимние и переходные месяцы года. Основными факторами, определяющими рост радиационного баланса и его главных составляющих, являются уменьшение отражательных свойств подстилающей поверхности и увеличение количества общей и нижней облачности.

Таким образом, анализ многолетних наблюдений МО МГУ радиационных параметров атмосферы показал, что наиболее существенные изменения, особенно выраженные в последние десятилетия, прослеживаются в аэрозольной мутности атмосферы, альбеде и радиационном балансе подстилающей поверхности. Все эти колебания обусловлены не только глобальной динамикой сложнейшей природной системы «космос-атмосфера-земля», но и заметными изменениями в формировании Москвы – одного из крупнейших городов мира.

The long-term changes of the radiation atmosphere parameters in Moscow

Shilovtseva O.A. (shil_o@mail.ru), Abakumova G.M., Gorbarenko Ye.V., Nezval Ye.I.
Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, 119991 Moscow, Russia

Because of the increased intensity of the usage of the natural resources, it's necessary to evaluate the climatic resources of solar radiation, which is the main climate-forming factor, one of the renewable energy sources and one of the main indicators of the resources of the solar energy. As much as can be perfect the analytic and numerical methods of solving the radiation problems, the success of climate change prediction is determined by the reliability and accuracy of observation the radiation data base. They are the long-term measurements of surface solar radiation, carried out on

the global network of actinometrical stations, which are the main validation source of the atmospheric radiation parameters and their temporal variability.

Meteorological Observatory of Moscow State University (MO MSU) has been holding the studies of the solar radiation regime in Moscow during over 50 years. The results of long-term monitoring of the radiation characteristics of the atmosphere are presented. The long-term variabilities of radiation parameters in cloudless and cloudy atmosphere are analyzed. It has been found that during the period 1955–2007 the coefficient of atmospheric transparency P_2 increases by 2 % and the aerosol optical depth decreases by 39 %. Concurrently, a statistically significant positive linear trend of moisture content of the atmosphere $W = +9\%$ at the confidence level of the trend of 99 % is observed.

Under cloudless sky condition it has been observed the statistically significant increase (by 5 %) of the direct integral radiation (300–4000 nm) S' , the statistically significant decrease of the diffuse integral radiation D (15 %) and the diffuse UV radiation (UVR, 300–380 nm) (by 7 % during the period 1968–2003) positive linear trend of S'/D relation, direct UVR (up 27 %, 1968–2003) and the total photosynthetically active radiation (PAR, 380–710 nm) (3 % during the period 1980–2001). Linear trend of the total integral and UV radiation is almost absent, while the growth of total PAR by 4 % during 20 years is significant ($P = 0.95$).

Under average conditions of cloudiness, a statistically not significant trend to decrease the annual sums of the total integrate radiation Q (2 %), to increase of annual sums of direct S' (2 %) and absorbed B_k (3 %) radiation were revealed. Decrease trend is statistically significant for the annual sums of the diffuse integral D (– 6 %), reflected R_k (– 16 %) and net B (14 %) radiation. The linear trend of the annual sums of total PAR is positive but statistically insignificant. Total UVR trend is absent.

A statistically significant tendency to decrease by 15 % of average annual values of land surface albedo A_k is remarkable. A_k reducing is observed during all the months except April, and the most significant one is in October (24 %).

Statistically significant positive linear trend of annual sums of net radiation B (14 %) is caused by the growth of annual sums of the absorbed radiation B_k (3 %) and the Earth's surface effective radiation E_{ef} (7 %). These trends of B , B_k and E_{ef} have an annual course. The maximum growth of them was marked in the winter and in April and October. The main factors determining the growth of the net radiation and its main components are the reduce of the reflective properties of the underlying surface and the total and low cloud amount increase.

Thus, the study of the long-term observations of the atmospheric radiation parameters in MO MSU showed that the most significant long-term changes are observed in the aerosol atmospheric depth, surface albedo and net radiation. They are especially remarkable in the recent decades. All these variations are caused not only by the global dynamics of the complex natural system "space-atmosphere-surface", but also by the noticeable changes in the configuration of Moscow - one of the largest cities in the world.

This work was partly done under financial support of Russian Foundation for Basic Researches (project № 09-05-00582-a).

Климатические изменения составляющих радиационного баланса подстилающей поверхности на территории России

Хлебникова Е.И. (sun@main.mgo.rssi.ru), Салль И.А., Стадник В.В., Трофимова О.В.

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

Для правильной атрибуции ожидаемых климатических изменений первостепенное значение имеет слежение за разными компонентами радиационного баланса подстилающей поверхности. В последнее десятилетие сложилось представление, в определенной степени нашедшее отражение в Четвертом Отчете МГЭИК, что изменения приходящей радиации

играют маскирующую роль по отношению к потеплению антропогенного происхождения. Такое представление базируется на результатах работ, выполненных, в основном, в 90-х годах прошлого столетия, в рамках которых была обнаружена тенденция к уменьшению поступления солнечной радиации на подстилающую поверхность. Впервые эта тенденция была выявлена в российских исследованиях по данным станций, освещающих значительную часть Евразийского континента, на интервале 1961–90 гг. Уменьшение прихода солнечной радиации на данном интервале было отмечено и в других регионах земного шара, и это явление получило название “global dimming”, ставшее весьма распространенным. Привлечение к анализу данных за последующие годы показало, что негативная тенденция не является долговременной [1, 2], и даже стала высказываться точка зрения, что именно изменение знака тренда приходящей солнечной радиации внесло существенный вклад в особенно сильный рост температуры в конце прошлого столетия.

В рамках данной работы рассматриваются региональные особенности климатических изменений составляющих радиационного баланса по данным актинометрической сети на территории России. К анализу были привлечены станции, ведущие наблюдения по полной программе, предполагающей выполнение измерений основных составляющих радиационного баланса подстилающей поверхности: прямой, рассеянной, суммарной, отраженной радиации и радиационного баланса. Первоочередное внимание уделено изменениям прямой солнечной и суммарной радиации.

Анализ многолетних колебаний регионально-осредненных аномалий годовых сумм прямой радиации на интервале 1961–2010 гг. показал, что все рассматриваемые ряды содержат долгопериодную составляющую, изменения которой, однако, не являются монотонными. В конце 80-х-начале 90-х гг. 20 века повсеместно отмечается пониженное поступление солнечной радиации (возможно, связанное с воздействием крупных вулканических извержений), при этом на интервале 1961–1990 гг. диагностируется отрицательный тренд. В последнее десятилетие 20-го столетия и в начале 21в. происходит возврат к значениям приходящей радиации, близким к норме.

Анализ сезонных аномалий прямой радиации, осредненных по территории России, демонстрирует единообразие векового хода аномалий для различных сезонов, свидетельствующее о крупномасштабности воздействия, приведшего к пониженным значениям прямой радиации в последней четверти 20 в. на территории России. В последний 5-летний период (2006–2010 гг.) регистрируемые аномалии близки к нулю и значительно отстоят от экстремально низких значений, достигнутых в начале 90-х годов прошлого столетия.

1. Wild, M.A., et al. From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface. *Science*, 2005, **308**, 847–850.
2. Wild M. et al. Global dimming and brightening: An update beyond 2000. *J. Geophys. Res. - Atmospheres*, 2009, **114**, D00D13, doi:10.1029/2008JD011382.

Использование косвенных методов расчета для оценки потенциала солнечной энергии различных регионов

Стадник В.В. (sun@main.mgo.rssi.ru), Шанина И.Н., Псаломщикова Л.М., Трофимова О.В.

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

В условиях редкой и крайне неравномерной актинометрической сети России большое значение имеют исследования, связанные с использованием косвенных методов расчета радиационных характеристик. В основе разработанных и применяющихся методов расчета лежат некоторые общие принципы, позволяющие представить «расчетную актинометрию» как некоторую систему физически обоснованных связей характеристик радиационного режима с метеорологическими характеристиками, влияющими на поступление солнечной радиации. Для вычисления радиационных характеристик, соответствующих конкретным

условиям данного места и времени, применяются полуэмпирические и эмпирические формулы с использованием данных, получаемых путем непосредственных измерений и характеризующих физическое состояние атмосферы именно в данных конкретных условиях.

В работе для оценки солнечного потенциала отдельных регионов России выполнен расчет месячных сумм суммарной радиации по известным формулам Ф. Альбрехта, М.С. Аверкиева и Т.Г. Берлянд, в которых для расчета суммарной радиации используется количество облаков, а также формулам Ангстрема и С.И. Сивкова, где используется продолжительность солнечного сияния. Как показали выполненные исследования, применение упомянутых формул дает удовлетворительные результаты только при условии уточнения эмпирических коэффициентов для каждого региона.

На примере двух областей – Амурской и Сахалинской, где наблюдения за солнечной радиацией проводятся только на двух станциях в каждой, выполнен расчет месячных сумм для всех метеорологических станций и построены региональные карты суммарной радиации. Показано, что для Амурской области лучшие результаты дает использование формулы Ангстрема, а для Сахалинской области – формулы Т.Г. Берлянд с уточненными эмпирическими коэффициентами.

Using of indirect calculation methods for solar energy potential estimations in different regions

Stadnik V.V., Shanina I.N., Psalomschikova L.M., Trofimova O.V.
Voeikov Main Geophysical Observatory, Karbyshev str. 7, Saint-Petersburg, Russia

Investigations with the use of indirect methods of calculation of radiation parameters are of great importance in sparse and irregular Russian actinometric net. In the basis of this investigation there are general principles which allow to assume “calculated actinometry” as a system of physically-proved links between radiation parameters and meteorological parameters, which have influence on solar energy income. Empirical and semiempirical formulas as well as the measured data (which characterize environmental conditions of certain place at fixed time and describe the state of the atmosphere precisely in the particular conditions) are applied for calculation of radiation parameters.

Monthly total radiation amounts were calculated in accordance with the well-known F.Albreht’s, M.Averkiev’s and T.Berlyand’s formulas for the estimation of solar energy potential of the different Russian regions, in which quantity of cloudiness is applied, and Angstrom’s and C.Sivkov’s formula, which involves sunshine duration.

These fulfilled investigations have shown that using the above-listed formulas allow to receive satisfactory results only if make more precise the empirical coefficients for every region.

As the examples the calculations of monthly amounts of total radiation were fulfilled and the regional maps have been made for Amur and Sakhalin regions. The best results for Amur region were obtained with the use of Angstrom’s formula, but in the same time Berlyand’s formula with the précised empirical coefficient allowed to receive the best result for Sakhalin region.

Влияние солнечной активности на содержание молекулярной воды в земной атмосфере

Лозицкий В.Г.¹ (lozitsky_v@ukr.net), Лозицкая Н.И.¹, Никольский Г.А.² (grik777@mail.ru),
Шульц Э.О.², Авакян С.В.³ (avak2@mail.ru), Воронин Н.А.³

¹*Астрономическая обсерватория Киевского национального университета им. Тараса Шевченко,
Обсерваторная 3, 04053 Киев, Украина*

²*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург-Петродворец, Россия*

³*Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия*

Спектральные наблюдения (в видимой области – от 380 до 660 нм) активных процессов на Солнце ведутся в Астрономической обсерватории Киевского национального университета (АО КНУ) с 1950-х годов. При этом фиксируются многие тысячи спектральных линий – как солнечных, так и теллурических. Параметры солнечных линий (их интенсивность, смещение, расщепление, асимметрия и пр.) зависят от физических условий на Солнце, тогда как интенсивность теллурических линий – от воздушной массы (т.е. высоты Солнца над горизонтом) и содержания соответствующего газового компонента в атмосфере Земли.

В докладе представляются экспериментальные данные, позволяющие заключить, что интенсивность теллурических линий молекулярной воды зависит от солнечной активности.

При низкой вспышечной активности Солнца зарегистрировано много узких теллурических линий паров воды, а при высокой эти линии практически отсутствуют. Этот факт можно интерпретировать как свидетельство того, что при повышении уровня солнечной активности в атмосфере Земли резко уменьшается концентрация молекул воды. Ранее такой эффект обнаружен в высокогорных измерениях ЛГУ, при этом выявлен вклад микроволновых всплесков и хромосферных вспышек Солнца в наблюдаемое явление, а результаты интерпретированы как переход паров воды в связанное состояние с образованием кластеров.

В работах ГОИ предложен механизм генерации в ионосфере Земли микроволнового излучения во время солнечных вспышек при возбуждении ридберговских состояний атомов и молекул верхней атмосферы ударом энергичными ионосферными фотоэлектронами и электронами Оже, а также учтен в рамках конденсационного механизма процесс столкновительной диссоциативной рекомбинации кластерных ионов из паров воды в тропосфере. Планируется исследовать этот эффект более детально и выяснить, какой именно параметр солнечной активности в наибольшей степени влияет на содержании молекул воды.

СЕКЦИЯ 6. "НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ"

Председатель: д.ф.-м.н. **Н.Ф. Еланский** (ИФА РАН, Москва)

Сопредседатели: к.ф.-м.н. **Е.И. Гречко** (ИФА РАН, Москва)

SESSION 6. "STUDIES OF RADIATIVE CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERE AND SURFACE"

Chairman: Prof. **N.F. Elansky** (IFA RAS, Moscow)

Co-chairman: Dr. **E.I. Grechko** (IFA RAS, Moscow)

Limb profiles of linear polarization measured by SCIAMACHY

Liebing P. (Patricia.Liebing@iup.physik.uni-bremen.de), Bramstedt K., Noel S., Bovensmann H.,
Burrows J.P.

Institute of Remote Sensing (IFE) University of Bremen, 28334 Bremen, Germany

SCIAMACHY measures the linear polarization in 5 broad wavelength bands between approximately 300 and 1800 nm. The polarization is inferred from the Polarization Measurement Devices (PMDs) and the scientific data integrated over the corresponding bandwidth of the PMDs (several hundred nm), using their known polarization sensitivity.

These data are primarily used for the absolute radiometric calibration of the spectrometer data. On the other hand it is known that polarization may be sensitive to aerosol concentration and size. In particular, the SCIAMACHY Limb data can potentially provide valuable information on stratospheric aerosols as well as on polar stratospheric and mesospheric clouds.

The quality of the data has been assessed by comparison with results of a Vector Radiative Transfer Model (SCIATRAN Version 3) for different aerosol settings and surface albedo. The comparison indicates relatively large errors in the calibration of the polarization sensitivity. Despite this fact, the data show a qualitatively high sensitivity to aerosols and clouds. This talk intends to show pathways towards quantitative interpretation of the SCIAMACHY data.

Качество оптических данных наблюдения Земли и его метрологическое обеспечение в России

Панфилов А.С.¹ (panfilov-m4@mail.ru), Гаврилов В.Р.¹, Иванов В.С.¹, Крутиков В.Н.²,
Лисянский Б.Е.¹, Морозова С.П.¹, Огарев С.А.¹, Пузанов А.В.¹, Самойлов М.Л.¹,
Солодилов М.В.¹, Хлевной Б.Б.¹, Саприцкий В.И.¹

*1Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ВНИИОФИ), ул.
Озерная 46, 119361 Москва, Россия*

2Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Москва, Россия

Earth observation optical data quality and its metrological assurance in Russia

Panfilov A.S., Gavrilov V.P., Ivanov V.S., Krutikov V.N.*, Lisyansky B.E., Morozov S.P., Ogarev
S.A., Puzanov A.V., Samoilov M.L., Solodilov M.V., Khlevnoi B.B., Sapritsky V.I.

Russian Research Institute for Optical-Physical measurements, Ozernaya str. 45, 119361 Moscow, Russia

**Federal Agency on Technical Regulating and Metrology, Moscow, Russia*

Доклад отражает состояние дел в области качества оптических данных наблюдения Земли на международном и российском уровнях. Возможности решения поставленной задачи, плодотворного участия в международных проектах, обмена данными зависят от их качества. Актуальность этих вопросов при реализации такого масштабного проекта как создание Глобальной системы наблюдения Земли GEOSS, объединяющей национальные системы, привела к разработке и принятию в рамках GEOSS международного документа

«Стратегия обеспечения качества данных наблюдения Земли» (QA4EO). К основным требованиям, сформулированным в нем, относятся:

- привязка данных посредством калибровки аппаратуры к системе национальных эталонов;
- представление четко определенных точностных характеристик данных с исчерпывающими сведениями по составляющим неопределенности измерений;
- обязательное проведение в процессе эксплуатации аппаратуры периодического контроля стабильности ее характеристик и сличений.

Это соответствует принципам интернационального обеспечения единства измерений. Планируется подготовка отечественного нормативного документа, гармонизированного с QA4EO.

В данном докладе рассмотрено выполнение в России указанных требований в части метрологического обеспечения калибровки оптической аппаратуры космического, авиационного и наземного базирования. Калибровочное оборудование должно обеспечивать прослеживаемость получаемых данных к первичному эталону, что до последнего времени определялось Государственной поверочной схемой ГОСТ 8.195-89. Достаточно длинная цепочка от первичного эталона до калибруемой аппаратуры не позволяла провести калибровку с высокой точностью. В связи с этим во ВНИИОФИ проведена работа по созданию эталонного радиометрического комплекса для прецизионной калибровки аппаратуры наблюдения Земли в спектральном диапазоне 0.3–25 мкм, который утвержден в ранге Государственного первичного специального эталона. Он включает 3 широкоапертурных (до 600 мм) эталонных излучателя – интегрирующую сферу, монохроматический источник излучения и модель черного тела, а также большой состав устройств, обеспечивающих высокоточное воспроизведение радиометрических величин этими излучателями. Представлены основные характеристики эталона, соответствующие современному мировому уровню, и данные по проекту Государственной поверочной схемы для средств измерений радиометрических величин. Сравнение старой и новой поверочных схем показывает, что с внедрением нового эталонного комплекса возможно повышение точности радиометрической калибровки оптической аппаратуры примерно в 5–10 раз. Определены перспективы развития калибровочной базы страны.

Автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс (АМПАК) для исследования составляющих энергетического баланса сельскохозяйственного поля

Ефимов А.Е. (info@agrophys.ru), Козырева Л.В. (4ludak@gmail.com), Кочегаров С.Ф.
Россельхозакадемия, ГНУ АФИ, Гражданский пр.14, 195220 Санкт-Петербург, Россия

Биофизические особенности растительного покрова определяют характер взаимодействия подстилающей поверхности и приземного слоя атмосферы. Растительный покров это особый слой, в котором создается индивидуальный микрометеорологический режим, отличающийся от открытого пространства, причем каждый тип растительности формирует свой фитоклимат. В этом случае тип фитолимата должен рассматриваться как физический режим приземного слоя воздуха, который создается под влиянием внешних метеорологических факторов и зависит от данного фитоценоза. Это и определяет характер взаимодействия энергетических потоков с фитоэлементами и особенности формирования данного типа фитолимата.

Получение оперативной и достоверной информации о состоянии полей и посевов сельскохозяйственных культур является важной задачей научного обслуживания экономики России. В настоящее время космические методы зондирования земной поверхности достигли высокого уровня как по качеству получаемых снимков в различных спектральных диапазонах, так и по степени покрытия территорий и временному шагу. В то же время использование имеющейся спутниковой информации для решения конкретных

сельскохозяйственных задач существенно отстает. Причина такого положения дел – отсутствие эффективных методов обработки данных дистанционного зондирования, формирующих достоверную информацию об интересующих пользователя показателях состояния полей и посевов, в том числе характеризующих тепло- и влагообеспеченность посевов. Наиболее перспективным направлением разработки таких методов является сочетание данных дистанционного зондирования (спутниковых снимков) со специальным образом поставленными наземными наблюдениями.

В Агрофизическом институте в лаборатории «Агроклимата» разработан автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс (АМПАК), позволяющий проводить исследования потоков тепла, количества движения и водяного пара, а также состояния растений и приземного слоя воздуха на сельскохозяйственном поле. Комплекс снабжен встроенным оригинальным программным обеспечением, позволяющим осуществлять дистанционное беспроводное управление режимами съема, сбора, хранения и первичной обработки информации. Комплекс состоит из блока микроконтроллера, который работает под управлением операционной системы Linux. С его помощью возможно подключение аналоговых датчиков посредством плат аналого-цифрового преобразования и возможности запуска пользовательских программ для организации системы управления процессом эксперимента. Программный комплекс управления процессом эксперимента создан с использованием языка программирования Java, что даёт возможность его использования и на других аппаратных платформах.

Специальное программное обеспечение комплекса позволяет не только получать, передавать и сохранять первичные данные метеопараметров, но и рассчитывать различные характеристики потоков тепла и влаги с различным временным шагом. В результате мы можем получать эмпирически-расчетным путем показатели составляющих энергетического баланса поверхности «в точке». Целью исследования является разработка методов мониторинга энергетических составляющих теплового баланса полей и посевов сельскохозяйственных культур. В основе разрабатываемых методов лежит согласованное использование данных дистанционного зондирования (космических снимков) и специальных наземных наблюдений на основе АМПАКа.

Автоматизированная установка для измерения двуокиси азота в атмосфере

Бручковский И.И. (Bruchkovsky2010@yandex.ru), Демин В.С.

*Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ, Курчатова 7,
(017) 2125312 Минск, Беларусь*

Среди оптических методов дистанционного мониторинга состояния атмосферы несомненным преимуществом обладает метод MAX-DOAS (Multi Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy). Он позволяет оперативно (в режиме реального времени) восстанавливать профиль вертикального распределения концентрации малой газовой примеси в течение светового дня для каждой пятиминутной серии измерений, что очень важно при исследовании фотохимических процессов, происходящих в атмосфере. Кроме того, этот метод позволяет проводить измерения пространственного распределения концентраций малых газовых составляющих атмосферы. Двуокись азота является важной атмосферной примесью, так как она участвует в циклах образования и разрушения озона. В настоящее время значительное влияние на состав атмосферы и, следовательно, на климат и здоровье человека оказывают антропогенные выбросы окислов азота, связанные со сгоранием органического топлива. Двуокись азота является одним из сильнейших загрязнителей атмосферы.

Для практической реализации методики MAX-DOAS разработана автоматизированная установка на базе лабораторного спектрографа ORIEL MS257. В установке реализована

система ввода излучения, позволяющая регистрировать спектры рассеянного солнечного света под разными углами возвышения в диапазоне 0–90°. Установка управляется дистанционно и может работать в автономном режиме. Для защиты от внешних воздействий и повышения точности измерений спектрограф помещен в термостабилизированный корпус.

Проведен анализ полученных спектров в области 410–480 нм с целью восстановления профилей концентрации двуокиси азота для города Минска.

Наземные измерения глобального альbedo Земли по наблюдениям пепельного света Луны

Лукин В.В.¹ (luikin@aari.nw.ru), Перфильев А.С.¹, Пучков В.В.¹, Хохлов В.Н.²

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга 38, 199397 Санкт-Петербург, Россия

²ООО «ТКС-оптика», Биржевая линия 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Антарктика является одним из наиболее интересных районов для исследований глобального альbedo Земли по наблюдениям пепельного света лунного диска. Прекрасные характеристики прозрачности атмосферы, небольшая концентрация аэрозолей и продолжительный период полярной ночи позволяют организовать на одной из российских антарктических станций специализированные исследования в этом направлении. Местом проведения исследований была выбрана российская антарктическая станция Новолазаревская, находящаяся в оазисе Ширмахера на Земле Королевы Мод.

Программа исследований по мониторингу климата на станции "Новолазаревская" предусматривала проведение технологических наблюдений и получение предварительных экспериментальных данных об оптических характеристиках пепельного света Луны, а также изучение возможной связи излучения мезосферных облаков, полярных сияний и зоревых явлений с климатическими особенностями в различные фазы солнечного цикла. Наблюдения проводились для выполнения работ в интересах подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП «Мировой океан».

Используемая для оптических наблюдений в видимом диапазоне аппаратура была подготовлена при совместном участии сотрудников РАЭ и ООО «ТКС-оптика» и включает модернизированный телескоп АЗТ-7, спектрофотометр СР 185 и цифровые фотографические камеры Canon PS S5IS и Nikon D60. Камера Canon PS S5IS оптически сопряжена со спектрофотометром СР 185 и вместе с ним образует аппаратный блок, предназначенный для регистрации визуальной картины (S5IS) исследуемого явления и определения абсолютных значений их яркостей (СР 185) в 2 интегральных и 4 узких спектральных участках в области 350–650 нм. Камера Nikon D60 без объектива штатно устанавливается на телескоп АЗТ-7 для регистрации изображений Луны в различные фазы лунаций и для получения детальных фотоизображений тонкой структуры мезосферных облаков, полярных сияний и зоревых явлений. Оснащенная объективом камера Nikon D60 автономно используется для регистрации визуальной картины всех наблюдаемых явлений. Телескоп АЗТ-7 размещен в астродоме. Регистрация телескопических, фотометрических и фотографических наблюдений осуществляется дистанционно с главного компьютера, размещаемого в отапливаемом помещении. Фотографическая аппаратура и управляющий телескопическими наблюдениями нетбук, расположенные вне обогреваемых помещений, размещены в специально разработанных термостабилизированных боксах. Управляющий нетбук вместе с главным компьютером организованы в сеть.

В период с апрель 2010 по апрель 2011 г. на станции "Новолазаревская" получен обширный экспериментальный материал по наблюдениям полярных сияний, лунного сияния и пепельного света, а также зоревых явлений. С начала 2011 года выполняются исследования оптических характеристик дневного излучения атмосферы и её ночного свечения в лунные

ночи. Представлены результаты предварительного анализа тонкой структуры полярных сияний, спектральных индикатрис и яркостей атмосферного излучения.

Параллельно с экспериментальными работами проводится и теоретическое изучение, основные усилия в котором направлены на методическое сопровождение экспериментов, разработку программного обеспечения для их выполнения и анализа экспериментального материала. Представлены некоторые результаты предварительного анализа фотографий пепельного света Луны. Теоретические расчёты были использованы для определения геометрических факторов и атмосферного влияния. Оригинальные фотографии были использованы для определения значения глобального альбеда Земли.

В результате сопоставления яркостей моря Кризисов на светлой части лунного диска и моря Влажности на темной его части было получено ориентировочное значение глобального альбеда обращенной к Луне части Земли. Оно составило 0.34, что близко к значению среднего альбеда 0.32.

Приёмник на частоту 142 ГГц для передвижного озонметра

Розанов С.Б.¹ (sergroz@sci.lebedev.ru), Завгородний А.С.¹, Логвиненко С.В.¹, Лукин А.Н.¹,
Соломонов С.В.¹, Штанюк А.М.² (shtan@appl.sci-nnov.ru), Большаков О.С.²

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия
²Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова 46, 603950 Н. Новгород, Россия

142 GHz receiver for transportable ozonometer

Rozanov S.B.¹ (sergroz@sci.lebedev.ru), Zavgorodniy A.S.¹, Logvinenko S.V.¹, Lukin A.N.¹,
Solomonov S.V.¹, Shtanyuk A.M.² (shtan@appl.sci-nnov.ru), Bol'shakov O.S.²

¹P.N.Lebedev Physical Institute RAS (LPI), Leninsky av. 53, 119991 Moscow, Russia

²Institute of Applied Physics RAS (IAP), Ulyanov str. 46, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

Озонный слой атмосферы не только защищает жизнь на Земле от губительного ультрафиолетового излучения Солнца, но и значительно влияет на климат планеты. Наземные измерения спектров теплового излучения озона на миллиметровых (ММ) волнах позволяют определять его вертикальное распределение в стратосфере и мезосфере круглосуточно и при различных погодных условиях (облачность, туман, снегопад). В ФИАН совместно с ИПФ РАН, СПбГПУ, НИИПП и другими организациями разработан новый передвижной озонметр с улучшенными характеристиками для наземных измерений вертикального распределения атмосферного озона на высотах 12–75 км (ночью до 95 км), перспективный для использования в сети станций мониторинга состава атмосферы. В докладе рассмотрены устройство и основные характеристики приёмника на частоту 142 ГГц, входящего в состав озонметра.

Озонметр регистрирует спектральную линию атмосферного озона с центральной частотой 142.175 ГГц (длина волны 2.1 мм) в полосе около 0.5 ГГц. Приёмник включает в себя оптический блок и СВЧ блок. Оптический блок обеспечивает выбор угла места наблюдений, модуляцию входного сигнала с частотой 30 Гц, регулировку яркостной температуры опорного излучателя от 100 К до 295 К, калибровку приёмника, фильтрацию входного сигнала в зеркальной полосе приёма, заполнение зеркальной полосы холодным излучением, модуляцию длины пути луча для исключения влияния стоячих волн во входном тракте, ввод в смеситель мощности гетеродина с частотой 138.4 ГГц, фильтрацию шумов гетеродина в сигнальной и зеркальной полосах и преобразование сигнала в полосу первой промежуточной частоты (ПЧ1) 3.5...4 ГГц. Смеситель выполнен на планарном диоде Шоттки, а гетеродином является генератор на диоде Ганна с двумя удвоителями частоты.

СВЧ блок приёмника обеспечивает преобразование сигнала из полосы ПЧ1 в полосы акустооптического и фильтрового анализаторов спектра, входящих в состав озонметра, стабилизацию частот всех гетеродинов с помощью систем ФАПЧ, измерение средней

яркостной температуры неба в полосе приёма и регулировку уровней сигналов, идущих к анализаторам спектра.

Управление приёмником возможно как от компьютера с использованием специальных программ, организующих выполнение озонометром циклов «калибровка-наблюдение», так и в ручном режиме.

В полосе частот 129.2–142.8 ГГц была измерена частотная характеристика (ЧХ) входного тракта приёмника. Форма полученной ЧХ оказалась близка к расчётной, определяемой произведением двух синусоид с периодами около 15 и 7.7 ГГц, описывающих парциальные ЧХ однополосного фильтра и диплексера. Максимумы пропускания этих синусоид совмещены на сигнальной частоте 142.2 ГГц. Глубина подавления входного сигнала на зеркальной частоте 134.6 ГГц достигает 34 дБ. Оцененное значение потерь мощности сигнала во входном тракте приёмника составляет 0.8 ± 0.5 дБ.

Диаграмма направленности антенны приёмника, измеренная на частоте 142.2 ГГц в Е- и Н-плоскостях для луча, направленного в горизонт, оказалась близка к расчётной осесимметричной гауссовой диаграмме до уровня примерно – 17 дБ, без боковых лепестков до уровня – 30 дБ. Ширина диаграммы направленности по уровню – 3 дБ составляет 1.5° .

Измерения шумовой температуры приёмника выполнялись стандартным методом по тёплому и холодному чернотельным излучателям. Однополосная шумовая температура приёмника, усреднённая по полосе ПЧ1, составила 1200 К с холодной нагрузкой в зеркальной полосе, а однополосные потери преобразования смесителя – около 6 дБ. Эти результаты находятся на уровне лучших известных данных для неохлаждаемых приёмников 2-миллиметрового диапазона со смесителями на диодах Шоттки.

Работа поддержана Программами ОФН РАН «Проблемы радиофизики» и «Радиоэлектронные методы в исследовании природной среды и человека», а также Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 10-02-05004).

Динамика параметров, характеризующих состояние воздушной среды г. Москвы по данным МО МГУ

Еремина И.Д. (meteo@rambler.ru), Горбаренко Е.В.

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак-т, Воробьёвы Горы, 119992
Москва, Россия*

Dynamics of parameters describing air quality in Moscow according to MO MSU database

Eremina I.D., Gorbarenko E.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Крупный промышленный город с большим количеством газовых и аэрозольных источников загрязнения трансформирует проходящую над ним воздушную массу, изменяя ее химический состав и оптические свойства. Мониторинг параметров, характеризующих состояние воздушной среды, является одной из основных задач в решении проблемы загрязнения городов.

К настоящему времени в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) сложился целый комплекс наблюдений за состоянием воздушной среды, осуществляемый несколькими организациями. С 1955 г. в МО МГУ ведутся наблюдения за приходом прямой солнечной радиации. На основе этих измерений определяются основные характеристики прозрачности атмосферы: интегральный коэффициент прозрачности и аэрозольная оптическая толщина атмосферы (АОТ) для эффективной длины волны солнечного спектра $\lambda_0 = 550$ нм. В 1980 г. в МО МГУ была создана химическая лаборатория для изучения химического состава атмосферных осадков. В 1999 г. МО МГУ была включена в сеть автоматических постов качества атмосферного воздуха «Мосэкомониторинга», что позволило оценить состояние

воздушной среды МО МГУ относительно других районов города. С 1 февраля 2002 г. на территории МО МГУ начала работать станция наблюдений состава атмосферы Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Учреждения академии наук Институт физики атмосферы имени А.М.Обухова.

Результаты исследований по всему комплексу наблюдений за состоянием воздушной среды показали, что измеряемые в МО МГУ параметры загрязнения атмосферы отражают общие закономерности изменений состояния воздушного бассейна Москвы. Так как станция находится в “чистом” юго-западном районе Москвы, в значительном удалении от крупных промышленных предприятий столицы, данные МО МГУ о качестве воздуха могут служить городским фоном для исследований экологической обстановки в разных районах Москвы.

Анализ временных рядов аэрозольной оптической толщины атмосферы (1955–2009 гг.) и химического состава осадков (1980–2009 гг.) показал наличие нескольких периодов очищения и загрязнения воздушной среды города. Эти периоды определяются как естественными процессами (вулканические извержения, лесные пожары), так и антропогенными факторами, связанными с изменением промышленной нагрузки в городе. В процессе очищения атмосферы от аэрозолей важная роль принадлежит осадкам. Процесс вымывания определяется совокупностью факторов: количеством, продолжительностью и интенсивностью осадков, характером их выпадения. В большей степени вымывающее действие дождя определяет продолжительность осадков.

С началом работы в МО МГУ станции наблюдения состава атмосферы появилась возможность проанализировать загрязнение и очищение атмосферы при совместной интерпретации показателей газового состава воздуха, химического состава осадков и АОТ атмосферы в период с 2002 по 2006 гг. и отдельно во время влияния дымной мглы от торфяных и лесных пожаров в Подмосковье (июль–сентябрь 2002 г.). Связь между газовым составом воздуха и химическим составом осадков в городской атмосфере, когда источник загрязнения постоянен (прежде всего, автотранспорт) не обнаруживается. В периоды значительного загрязнения атмосферы (в период дымной мглы) роль осадков в очищении атмосферы существенно увеличивается.

Авторы выражают благодарность Р.А. Шумскому и И.Б. Беликову за обеспечение измерений автоматизированным комплексом аппаратуры на станции наблюдений состава атмосферы Географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова и Учреждения академии наук Институт физики атмосферы имени А.М.Обухова.

Измерения концентрации приземного озона в Обнинске за период 2004-2010 гг.

Милехин Л.И. (LM@feerc.obninsk.org), Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Милехин В.Л.,
Тереб Н.В., Упэнек Л.Б.

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

На станции мониторинга атмосферы «Обнинск», расположенной на Европейской территории России в 105 км к юго-западу от Москвы (55.1° с.ш., 36.6° в.д.) с января 2004 г. по декабрь 2010 г. было получено свыше 40 тыс. среднечасовых концентраций О₃ (КПО, мкг/м³) в приземном воздухе. До апреля 2010 г. концентрации приземного озона (КПО) измерялись хемилюминесцентным анализатором 3.02П1 и 3.02 П-А(ОПТЭК), а затем оптическим анализатором Model 49i (Thermo).

Поведение приземного озона в Обнинске имеет черты, характерные для т.н. «удаленных» и «сельских» станций и для мегаполисов. Так, в годовом ходе среднесуточных значений КПО хорошо заметны два сезонных максимума – в марте–апреле, что характерно для удаленных станций и июле–августе, что характерно для «сельских» станций. Летний максимум превышает весенний. Суточный ход КПО имеет минимум в рассветные часы и дневной максимум. Весной и летом хорошо заметен ночной максимум, характерный для

мегаполисов. Летом он менее заметен, проявляясь в виде перегиба кривой суточного хода КПО.

При анализе результатов измерений использованы данные о температуре, давлении, влажности, скорости и направлении ветра, регистрируемые на разных уровнях 300-метровой Высотной метеорологической мачты (ВММ). Наиболее тесная связь найдена между КПО и приземной температурой, которая для июля–августа учитывает около 50 % суммарной дисперсии. Зависимость КПО от азимута скорости ветра в июле–августе ответственна за 15–20 % суммарной дисперсии. В 2004–2009 гг. она имела слабый минимум при южных ветрах (на всех уровнях ВММ), однако в 2010 г. азимутальная зависимость КПО была иной. Она имела максимум при северо-восточных–восточных ветрах, с которыми в Обнинск поступал загрязненный воздух горящих торфяников и минимум при юго-западных–западных ветрах.

Измерения в июле–августе 2004–2009 гг. на всех уровнях и измерения 2010 г. на уровне 8 м не обнаруживают зависимости КПО от модуля скорости ветра, но на уровнях 121 и 301 м в 2010 г. такая зависимость появляется (отрицательная) с долей учитываемой суммарной дисперсии 11 % и 14 %, соответственно. Зависимость от абсолютной влажности для июля–августа слабоположительная и учитывает 15 % суммарной дисперсии в 2004–2009 гг. и 7 % – в 2010 г. Среднесуточное значение КПО за 2004–2009 гг. составило 25.4 мкг/м³ при коэффициенте вариации 12.1 мкг/м³. Для 2010 г. эти значения составили 49.5 мкг/м³ и 25.1 мкг/м³ соответственно. Число дней, когда среднесуточное КПО превышало ПДК (30 мкг/м³) составило 35 % и 72 % от общего числа наблюдений в 2004–2009 гг. и 2010 г. соответственно. Среднечасовые значения КПО превысили ПДК (120 мкг/м³) в 9 случаях из 37900 в 2004–2009 гг.) и в 258 случаях из 8433 в 2010 г.

Порог, при котором директива 2002/3/ЕС предписывает информирование населения (180 мкг/м³ для среднечасовой КПО) в 2004–2009 гг. не был превышен ни разу, в 2010 г. был превышен 12 раз, из них 10 случаев пришлось на начало августа – период самой сильной задымленности Обнинска воздушными массами с горящих торфяников. Порог тревоги (240 мкг/м³ для среднечасовой КПО в течении трех часов подряд) за период 2004–2010 гг. не был превышен ни разу.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00356).

Об оптимальных условиях для прямого определения радиационного притока тепла в атмосфере

Елисеев А.А. (oznet@peterlink.ru)

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 188685 пос. Воейково, Всеволожский р-н
Ленинградской области, Россия*

В работе рассмотрены условия в атмосфере, позволяющие проводить с минимальной погрешностью измерения длинноволнового радиационного притока тепла (РПТ) посредством ранее описанного оптико-акустического приемника [1]. Это – такие условия приземного слоя атмосферы, при которых значение РПТ определяется спектральными интервалами сильного поглощения, т.е. теплообменом с близлежащими слоями воздуха. Индикатором таких условий можно считать величину вертикального градиента температуры на уровне измерений РПТ, превосходящего равновесный градиент более чем в 10–50 раз. Согласно Архиву теплоравновесных наблюдений такие условия (сверхадиабатические или инверсионные) преобладают в приземном слое, что позволяет проводить здесь измерения РПТ на территории южных и умеренных широт в любое время года и суток. При наличии равновесного градиента температуры обычно величина притоков пренебрежимо мала.

1. Елисеев А.А., В.И. Привалов, Н.Н.Парамонова, З.М. Утина. Экспериментальное исследование притоков тепла в приземном слое атмосферы. *Изв. РАН, ФАО*, 2002, **38**, 5, 649–657.

Изменчивость уровня приходящей солнечной ультрафиолетовой радиации в Кишиневе, Молдова

Акулинин А.А. (akulinin@phys.asm.md), Смыков В.П.

Институт прикладной физики АН Молдовы, ул. Академией 5, МД-2028, Кишинев, Молдова

Измерения приходящей солнечной ультрафиолетовой (УФ) радиации на горизонтальную поверхность проводились в Кишиневе на базе наземной станции в Институте прикладной физики АН Молдовы. Станция расположена в городской черте Кишинева и находится в режиме непрерывной работы, начиная с октября 2003 года. В ее состав входят стационарная и автоматическая солнечно-следающая платформы для измерения глобальной компоненты и, соответственно, рассеянной компоненты. Платформы оснащены датчиками, из которых 3 широкополосные датчики солнечной УФ радиации в диапазонах UV-B (280–315 нм) и UV-A (315–400 нм). Тип датчиков: UV-S-B-C и UV-S-A-C (Kipp & Zonen), соответственно. Остальные 6 датчиков используются для измерения солнечной (280–3000 нм) и атмосферной радиации (4.2–42 мкм). Ряд непрерывных наблюдений включает измерения за период 2004–2010 гг. (полные года). В данном исследовании представлены статистические оценки вкладов УФ радиации относительно суммы Q_{uvb} для комбинированного спектрального интервала UV-BA (280–400 нм) и относительно суммарной солнечной радиации Q .

Для УФ радиации отношения месячных сумм диффузной D_{uvb} , суммарной Q_{uvb} и Q_{uve} (эритемальной) радиации к месячной сумме Q_{uvba} , усредненные за исследуемый период, равны:

$$\langle D_{uvb}/Q_{uvba} \rangle = 1.2 \%, \langle Q_{uvb}/Q_{uvba} \rangle = 1.6 \% \text{ и } \langle Q_{uve}/Q_{uvba} \rangle = 0.21 \%.$$

Для UVB диапазона усредненные значения отношений месячных сумм $\langle D_{uvb}/Q_{uvb} \rangle$ и $\langle Q_{uve}/Q_{uvb} \rangle$, описывающих долю диффузной и суммарной эритемальной радиации относительно суммарной UVB радиации равны $\sim 77 \%$ и $\sim 14 \%$, соответственно.

Следует отметить, что для самих отношений характерно наличие сезонных изменений с максимальными значениями в летний период и минимальными значениями в зимний период, так, например, отношение Q_{uvb}/Q_{uvba} изменяется от $\sim 0.7 \%$ (в январе) до $\sim 2.4 \%$ (в июле). Средние значения годовых сумм в УФ области спектра равны (в MJ/m^2):

$$\langle Q_{uvb} \rangle = 7.11, \langle Q_{uve} \rangle = 0.913, \langle D_{uvb} \rangle = 5.34, \langle Q_{uva} \rangle = 372.7$$

Значения отношений месячных сумм УФ излучения к месячным суммам суммарной солнечной радиации Q , усредненные за исследуемый период, равны (в $\%$):

$$\langle Q_{uve}/Q \rangle = 0.02, \langle Q_{uvb}/Q \rangle = 0.13 \text{ и } \langle Q_{uva}/Q \rangle = 8.5.$$

Значение годовой суммы суммарной солнечной радиации $\langle Q \rangle$ на горизонтальную поверхность, усредненное за период непрерывных наблюдений для действительных условий, равно $\langle Q \rangle = 4670.8 \text{ МДж}/\text{м}^2$.

Более подробная информация о наземной станции, об используемом оборудовании, измерениях и результатах наблюдений приведена на сайте группы <http://arg.phys.asm.md>.

Variability of levels of incoming solar ultraviolet radiation in Kishinev, Moldova

Aculinin A.A. (akulinin@phys.asm.md), Smicov V.P.

Institute of Applied Physics, Academy of Sciences of Moldova (ASM), Str Academiei 5, Kishinev, MD-2028, Moldova

Measurements of incoming solar ultraviolet (UV) radiation onto the horizontal surface were performed in Kishinev on the basis of a ground-based station at the Institute of Applied Physics, ASM. The station is located in the city environment of Kishinev and it is in continuous operation since October 2003. Radiometric complex as a key element of the station consists of fixed platform and automatic sun-tracking unit (as rotating platform) for measuring global and, consequently, scattered and direct components of solar radiation. Platforms were equipped with the set of sensors,

3 of which are the broadband sensors of solar UV radiation in the range of UV-B (global and diffuse) and UV-A (global). Type of sensors from Kipp & Zonen are UV-S-B-C (280–315 nm) and UV-S-A-C (315–400 nm), respectively. The other 6 sensors are used to measure solar (280–3000 nm) and atmospheric (4.2–42 μm) radiation. A series of continuous observations include measurements in the course of the period from 2004 to 2010 (full year only). This study presents statistical estimates of the contributions of UV radiation relatively to the amount of UV radiation Q_{uvb} for the combined spectral range UV-BA (280–400 nm) and to the total solar radiation Q . Monthly and yearly sums for all respective components of solar radiation are used in examination.

For UV radiation, ratios of the monthly sums of diffuse UVB D_{uvb} , total UVB Q_{uvb} and total erythral Q_{uve} radiation to the monthly sum Q_{uvba} , averaged over period of observations are equal to:

$$\langle D_{uvb}/Q_{uvba} \rangle = 1.2 \%, \langle Q_{uvb}/Q_{uvba} \rangle = 1.6 \% \text{ и } \langle Q_{uve}/Q_{uvba} \rangle = 0.21 \%$$

For UVB radiation, average values of the relations of the monthly sums $\langle D_{uvb}/Q_{uvb} \rangle$ and $\langle Q_{uve}/Q_{uvb} \rangle$, describing the proportion of diffuse radiation and total erythral UV radiation relative to the total amount of UVB radiation are equal to $\sim 77 \%$ and to $\sim 14 \%$, respectively.

It should be noted that the relations themselves are characterized by seasonal changes with maximum values observed in summer and minimum values in winter. For example, ratio Q_{uvb}/Q_{uvba} varies from $\sim 0.7 \%$ (in January) to $\sim 2.4 \%$ (in July). Average values of yearly MJ/m^2 :

$$\langle Q_{uvb} \rangle = 7.11, \langle Q_{uve} \rangle = 0.913, \langle D_{uvb} \rangle = 5.34, \langle Q_{uva} \rangle = 372.7$$

Values of ratios of the monthly sums of UV radiation to the monthly sums of total solar radiation Q , averaged over period of observation, are:

$$\langle Q_{uve}/Q \rangle = 0.02, \langle Q_{uvb}/Q \rangle = 0.13 \text{ и } \langle Q_{uva}/Q \rangle = 8.5.$$

Value of the annual sum of total solar radiation $\langle Q \rangle$ on a horizontal surface, averaged over a period of continuous observations for the actual conditions, is equal to $\langle Q \rangle = 4670.8 \text{ MJ/m}^2$. More information about the ground station, equipment which is used at the station, measurements and results of observations are presented at the group site <http://arg.phys.asm.md>.

Увеличение кислотности атмосферных осадков за последние годы (по наблюдениям МО МГУ)

Еремина И.Д. (meteo@rambler.ru)

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

Increase of atmospheric precipitation acidity in recent years (according to MO MSU observations)

Eremina I.D. (meteo@rambler.ru)

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

В Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) измерения кислотности осадков проводятся с 1980 г., полный анализ ионного состава – с 1982 г. Изучение химического состава атмосферных осадков основано на отборе единичных проб. Наблюдения проводятся круглосуточно. В каждой пробе дождя и снега определяется содержание анионов: сульфатов (SO_4^{2-}), гидрокарбонатов (HCO_3^-), хлоридов (Cl^-), нитратов (NO_3^-) и катионов: кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), натрия (Na^+), калия (K^+) и аммония (NH_4^+). Кислотность проб определяют по показателю pH.

В начале наших наблюдений в 80–90-х годах средняя кислотность осадков составляла 4.86 pH, большая часть проб дождей имела значение pH в интервале от 4 до 6 (среднее многолетнее 4.77 pH), а снега – от 6 до 8 (среднее 5.54 pH). «Кислые осадки» (имеющие pH < 5.0) составляли в среднем около 25 % всех выпадающих в году осадков. Максимальное количество (40.3 %) наблюдалось в 1987 г. Однако с 1999 по 2004 г. количество кислотных

осадков резко уменьшилось, до 2–7 проб в год, а в 2002 г. не было ни одной пробы с $\text{pH} < 5.0$! Начиная с 2005 г. кислотные осадки вновь выпадают в значительном количестве, и их доля увеличивается год от года. В 2009 и 2010 гг. третья часть всех проб осадков имела $\text{pH} < 5.0$. Причем, если ранее кислые осадки выпадали преимущественно в теплый период, то в последние годы нередко и снежные пробы имеют кислую реакцию.

Произошли некоторые изменения и в ионном составе осадков. Интегральным показателем загрязненности атмосферных осадков служит сумма концентраций всех ионов или суммарная минерализация осадков. Средние годовые значения данной величины изменялись в пределах от 11.8 мг/л (2001 г.) до 27.0 мг/л (1991 г.). До конца 90-х годов средняя минерализация составляла около 20 мг/л, а в последние годы – около 15 мг/л. Уменьшение загрязненности проб происходило в основном за счет уменьшения в осадках сульфат-ионов, кальция, натрия. В период отсутствия кислотных осадков (1999–2004 гг.) увеличивалось содержание гидрокарбонат-ионов, а с 2005 г. немного возросло содержание хлоридов в осадках. Дождей в году выпадает больше, обильные пробы больше разбавлены, поэтому минерализация проб осадков в теплый период несколько ниже, чем проб снега. Исключение составляют значения минерализации в теплый и холодный периоды 2010 г. Из-за аномально сухого жаркого лета количество осадков было очень мало, поэтому минерализация проб дождей в среднем выше, чем проб снега (18.0 и 13.1 мг/л, соответственно). Концентрации некоторых ионов практически одинаковы в пробах снега и дождя, но в снеге больше ионов гидрокарбонатов, нитратов, кальция и натрия, а в дождях – хлоридов и аммония.

Было замечено, что в годы с большим количеством кислотных осадков средние концентрации хлоридов в пробах также повышены и часто преобладают среди анионов. Создается впечатление, что именно повышенные концентрации хлоридов (а не сульфатов, как принято считать) связаны с выпадением кислотных осадков! Причем, связи между pH отдельных проб и содержанием в них ионов Cl^- , как правило, очень слабые, статистически значимые коэффициенты корреляции между pH и Cl^- наблюдались только в 2008 г. (– 0.21) и в 2005 г. (– 0.38) при длине ряда 140 и 120, соответственно. А коэффициент корреляции между средними годовыми значениями содержания хлоридов и количеством кислотных осадков за все годы наблюдений составил 0.733.

Таким образом, в период наблюдений с 1980 до 1998 г. пробы атмосферных осадков были более загрязнены, и в теплые месяцы выпадало значительное количество кислотных дождей. В 1999–2004 гг. кислотных осадков почти не было, а средняя минерализация проб уменьшилась. Начиная с 2005 г. вновь стали выпадать кислотные осадки, причем не только в теплые, но и в холодные периоды года, но минерализация остается на невысоком уровне, т.е. загрязненность проб не увеличивается, и, в среднем, ее значение примерно на 5 мг/л ниже, чем до 1998 г.

Разработка высокостабильных источников излучения теплового ИК диапазона для бортовой калибровки спутниковой аппаратуры

Бурдакин А.А. (burdakin-m4@mail.ru), Панфилов А.С., Саприцкий В.И., Пузанов А.В.,
Раков В.В., Самойлов М.Л., Имранова К.М., Ус Е.А.

*Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ВНИИОФИ), ул.
Озерная 46, 119361, Москва, Россия*

Development of super-stable radiation sources for on-board calibration of the space-born instruments within the thermal IR spectral range

Burdakin A.A., Panfilov A.S., Sapritsky V.I., Puzanov A.V., Rakov V.V., Samoilov M.L.,
Imranova K.M., Us E.A.

Russian Research Institute for Optical-Physical measurements, Ozerneya str. 45, 119361 Moscow, Russia

Перспективные высокостабильные бортовые опорные источники излучения теплового ИК диапазона необходимы для получения достоверных данных при мониторинге климата Земли с использованием спутниковой оптической аппаратуры, поскольку современные средства полётного контроля характеристик аппаратуры в ИК диапазоне не обеспечивают выполнение этой задачи. Так, измерения яркостной температуры поверхности океана спутниковой аппаратурой наблюдения Земли (САНЗ) необходимо производить с точностью ~ 0.1 К и долговременной стабильностью ~ 0.01 К/десятилетие, что невозможно при использовании существующих методов. Согласно предложению ВНИИОФИ, для контроля стабильности САНЗ в тепловом ИК диапазоне, в условиях космического полета, могут применяться перспективные бортовые модели чёрных тел (МЧТ), инкорпорирующие явление фазового перехода (ФП) – МЧТ на ФП, или реперные МЧТ. На современном этапе работ в качестве низкотемпературных реперных точек для построения бортовых стабильных источников излучения теплового ИК диапазона (МЧТ на ФП) были выбраны эвтектические интерметаллические сплавы на основе галлия и индивидуальный галлий.

Проект по созданию бортовых опорных источников излучения на фазовых переходах включает не только разработку аппаратуры, но и исследования, имеющие фундаментальный характер. К ним относится исследование особенностей низкотемпературного фазового перехода в условиях орбитальной невесомости на примере реперных точек, выбранных для построения МЧТ на ФП. Космический эксперимент (КЭ) «Репер-Калибр», нацеленный на решение этой задачи, запланирован к постановке на Российском сегменте Международной Космической Станции и находится в настоящее время на стадии наземной подготовки во ВНИИОФИ. В рамках наземной подготовки КЭ «Репер-Калибр» фазовые переходы плавления/кристаллизации Ga-In, Ga-Sn, Ga-Zn и Ga были изучены на опытных образцах научной аппаратуры, предназначенной непосредственно для проведения космического эксперимента.

Одновременно на стадии наземной подготовки во ВНИИОФИ находится другой космический эксперимент – КЭ «Калибр», тесно связанный с КЭ «Репер-Калибр» и планируемый к проведению на спускаемом аппарате Фотон М-4. Космические эксперименты «Репер-Калибр» и «Калибр» являются необходимым этапом в разработке высокостабильных источников излучения теплового ИК диапазона для бортовой калибровки спутниковой аппаратуры. Целью КЭ «Калибр» является исследование прототипа бортовой реперной МЧТ в условиях невесомости; на данном этапе прототипом будет служить МЧТ на фазовом переходе плавления галлия. На следующем этапе разработки бортовых реперных МЧТ планируются эксперименты с прототипами бортовых МЧТ на фазовых переходах плавления галлиевых эвтектик.

В докладе изложены основные результаты лабораторных исследований низкотемпературных реперных точек, разработанных для КЭ «Репер-Калибр», и прототипа бортовой МЧТ на ФП для КЭ «Калибр», полученные в ходе наземной подготовки этих экспериментов.

СЕКЦИЯ 7. "ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН, МАКРОЦИРКУЛЯЦИЯ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ПЛАНЕТ"

Председатель: д.ф.-м.н. **А.И. Погорельцев** (РГГМУ, СПб)

Сопредседатели: д.ф.-м.н. **Н.М. Гаврилов** (СПбГУ, СПб), к.ф.-м.н. **В.П. Юшков** (МГУ, Москва), Prof. **Christoph Jacobi** (University of Leipzig, Institute for Meteorology, Leipzig, Germany)

SESSION 7. "WAVE CHARACTERISTICS, MACROCIRCULATION AND DYNAMICS INTERACTIONS IN ATMOSPHERES OF THE EARTH AND OTHER PLANETS"

Chairman: Prof. **A.I. Pogoreltsev** (RSHU, SPb)

Co-chairmen: Prof. **N.M. Gavrilov** (SPbSU, SPb), Dr. **V.P. Yushkov** (MSU, Moscow), Prof. **Ch. Jacobi** (University of Leipzig, Institute for Meteorology, Leipzig, Germany)

Исследование динамических процессов в период формирования блокирующего антициклона над Европейской частью России в конце июня 2010 г.

Варгин П.Н (p_vargin@mail.ru), Лукьянов А.Н.

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

Блокирующий антициклон над Европейской частью России и территорией сопредельных государств летом 2010 г. был рекордным как по продолжительности, так и по охватываемой территории и интенсивности. В работе исследуются возможные динамические процессы, которые могли внести вклад в его образование в конце июня 2010 г. С использованием данных реанализа НСЭП температуры, геопотенциала, зонального и меридионального ветра рассчитаны 3-х мерные значения векторов Плама для 3-х суточных периодов, позволяющие проанализировать характер распространения волновых цепочек (квазистационарных волн Россби) в тропосфере.

Показано, что в июне 2010 г. в тропосфере над Атлантикой в восточном направлении наблюдалось распространение трех волновых цепочек. Первые две цепочки, достигнув Европейский континент, распространялись далее в юго-восточном направлении. Только последняя, третья, волновая цепочка продолжила своё распространение над Европой в северо-восточном направлении над Скандинавией примерно с 17 до 21 июня. Именно в этот период, с 18 июня, над северо-западом России началось образование антициклона, который впоследствии развился в сильный, устойчивый блокирующий антициклон, просуществовавший над обширной территорией до середины августа 2010 г. Изменение направления распространения исследуемых волновых цепочек во второй половине июня может быть связано с образованием двойной структуры зонального течения в тропосфере над Европой: основная струя наблюдалась в области 30–40° с.ш., а вторая – с центром вблизи 60° с.ш. В последующие дни в конце июня – после образования антициклона – аналогичного распространения волновых цепочек над Атлантикой и Европой уже не наблюдалось. Возникновение исследуемых волновых цепочек произошло вблизи области с повышенной облачностью, которая наблюдалась на северо-западе Атлантического океана примерно с 7 по 19 июня. Данная область была выявлена как область с отрицательными значениями аномалий уходящей длинноволновой радиации от климатических значений. Обсуждаются возможные причины образования этой области. Из ранее опубликованных результатов исследований известно, что образование волновых цепочек может происходить вблизи областей с конвективными движениями.

В работе также проанализировано распространение волновых цепочек в тропосфере Северного полушария в июле–августе 2010 г. и в июле–августе 1972 г. С использованием траекторной модели с шагом по времени 15 минут были рассчитаны 5–10 дневные обратные

траектории, с помощью которых были проанализированы движения воздушных частиц, прибывших в область антициклона в период его формирования в конце июня 2010 г.

Суммируя вышесказанное, мы предполагаем, что образовавшаяся над северо-западом Атлантики волновая цепочка, распространяясь в восточном направлении и далее над Европой в восточном и северо-восточном направлении, могла внести вклад в образование антициклона над Европейской территорией России в конце июня 2010 г. Для подтверждения полученных результатов, безусловно, необходимо проведение численных экспериментов.

Возмущение зональной циркуляции атмосферными приливами

Гаврилов А.А., (a_gavrilov@mail.ru), Капица А.П.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 119991 Москва, Россия

Представлена линеаризованная численная гидродинамическая модель для исследования устойчивости зональных течений во вращающейся сферической атмосфере. Модель базируется на физико-математических алгоритмах, которые были разработаны авторами ранее для изучения атмосферных термических приливов в средней атмосфере. В численных экспериментах инициаторами регулярных возмущений зональной циркуляции рассматривались атмосферные приливы, как термические, так и гравитационные.

С помощью численного моделирования на разработанной модели показано, что незначительные по величине атмосферные приливы (в том числе и лунные), при наличии типичной зональной циркуляции в тропосфере (например, для условий летнего солнцестояния в Северном полушарии), могут инициировать зарождение значительных, превышающих их по амплитуде на 2–3 порядка, крупномасштабных возмущений температуры, давления, плотности и скорости ветра в тропосфере. Анализ результатов численных экспериментов также показал, что неустойчивые возмущения, возникающие в численных экспериментах, обусловлены исключительно наличием вертикальных градиентов зональной циркуляции в тропосфере. Причем, возникающие крупномасштабные возмущения являются стационарными и представляют собой тороидальные (тэйлоровские) вихри, регулярно расположенные вдоль меридиана в среднеширотной тропосфере летнего полушария. Характерное время нарастания амплитуды возмущений, которое составляет порядка 20 часов для долгого волнового числа $s = 6$, увеличивается $\sim$ в 6 раз с уменьшением долгого волнового числа до значения $s = 1$.

Поскольку специфика атмосферных лунных приливов, которые являлись регулярными возмущениями в наших численных экспериментах, обусловлена, так называемым, лунным запаздыванием, в численных экспериментах следовало ожидать изменение профилей нарождающихся крупномасштабных возмущений температуры, давления, плотности и скорости ветра в зависимости от фазы атмосферных лунных приливов, т.е. от положения на небесной сфере приливообразующего источника (Луны) в анализируемые моменты местного времени. Анализ численных экспериментов полностью подтвердил эти предположения. Подчеркивается, что полученные результаты являются хорошим аргументом в пользу нового концептуального подхода к природе крупномасштабных метеорологических процессов на Земле [1, 2]. В рамках этого подхода средние характеристики метеорологических параметров (климат) крупномасштабных процессов обуславливаются и контролируются Солнцем, а в формировании погоды (отклонений от средних метеорологических параметров) активно участвуют и атмосферные приливы, в том числе и лунные.

1. Гаврилов А.А. Оценка и прогнозирование воздействия атмосферных приливов на гидротермодинамические атмосферные процессы над регионами России. В сб. трудов лауреатов калужских региональных премий. 2010г. Калуга. Выпуск 6, 18–26.
2. Гаврилов А.А.. Атмосферные приливы, как инициаторы зарождения крупномасштабных метеорологических процессов. *Научная перспектива*, 2011, 3, 67–70; адрес в Internet: www.naupers.ru.

Zonal circulation perturbation caused by atmospheric tides

Gavrilov A.A. (a_a_gavrilov@mail.ru), Kapitsa A.P.

Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory, 119991 Moscow, Russia

A linearized numerical hydrodynamic model to study stability of zonal flows in the rotating spherical atmosphere is presented. The model is based on physical and mathematical algorithms developed by the authors to study atmospheric thermal tides in the middle atmosphere. In numerical experiments, atmospheric tides, both thermal and gravitational, are taken to initiate regular zonal circulation perturbations.

Numerical simulation shows that slight atmospheric tides (including atmospheric lunar tides), with typical troposphere zonal circulation, for example, during midsummer in the Northern Hemisphere, can initiate large-scale temperature, pressure, density and wind speed atmospheric perturbations whose amplitude is two to three orders of magnitude larger than that of atmospheric tides. The analysis of the numerical experiments results also shows that unstable perturbations arising in numerical experiments are only caused by vertical gradients of the troposphere zonal circulation. It should be noted that large-scale perturbations are stationary and represent toroidal Taylor vortices located regularly along the meridian in the middle-latitude troposphere of the “summer” hemisphere. The characteristic time of the growth in perturbations amplitude, which is about twenty hours for the longitude wave number $s = 6$, increases approximately six-fold with the longitude wave number decreasing to $s = 1$.

Since a specific character of atmospheric lunar tides that represented regular perturbations in our numerical experiments is caused by the so-called lunar lag, the profiles of the arising large-scale temperature, pressure, density and wind speed perturbations are to be expected to change in numerical experiments depending on the phase of atmospheric lunar tides, i.e. on the position of the tide-producing source, the Moon, in the celestial sphere at the local time instants analyzed. These assumptions were completely justified by the analysis of the numerical experiments. It is emphasized that the results obtained are a good argument to the benefit of the new conceptual approach suggested before in [1, 2] that deals with the determination of the nature of large-scale meteorological processes on the Earth. Under this approach, mean characteristics of meteorological parameters of large-scale processes, i.e. climate, are determined and controlled by the Sun, while atmospheric tides, including lunar atmospheric tides, participate actively in the formation of weather that represents deviations from mean meteorological parameters.

1. Gavrilov, A.A. Estimating and forecasting the effect of atmospheric tides on hydrodynamic and thermodynamic atmospheric processes over the Russian regions. In: Collected Papers of Kaluga Regional Prize Winners. 2010. Kaluga. Issue 6, 18–26.
2. Gavrilov, A.A. Atmospheric tides as initiators of large-scale meteorological processes. *Nauchnaya perspektiva (Scientific Prospect)*, 2011, 3, 67–70. Internet address: www.naupers.ru.

Насыщение планетарных волн в зимней полярной стратосфере Северного полушария

Погорельцев А.И. (apogor@rshu.ru)

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

Анализ данных, ассимилированных в модели UK Met Office, показывает сильную изменчивость амплитуд стационарных планетарных волн (СПВ) в течение зимних месяцев в стратосфере Северного полушария. С использованием численной модели средней и верхней атмосферы исследован нелинейный отклик стратосферной динамики к усилению амплитуд СПВ на нижней границе. Полученные результаты показывают, что нелинейное взаимодействие волн со средним потоком приводит к насыщению СПВ1 (планетарная волна с зональным волновым числом один). Дальнейшее увеличение амплитуды СПВ1 на нижней границе приводит к существенному изменению среднего потока в нижней стратосфере,

которое ограничивает вертикальное проникновение этой волны в стратосферу. В результате амплитуда СПВ1 в верхней стратосфере и мезосфере становится даже меньше по сравнению со случаем слабого возбуждения. Отмечается также отражение СПВ1 от системы ветров нижней стратосферы, которое сопровождается существенным ростом волновой активности в тропосфере высоких широт. Анализ чувствительности СПВ2 в стратосфере к усилению ее возбуждения на нижней границе показывает, что в этом случае отклик примерно линейный, по крайней мере, для реалистичных (наблюдаемых) амплитуд СПВ2.

Кратко обсуждаются возможные применения полученных результатов к проблеме возникновения внезапных стратосферных потеплений, а также возможное влияние стратосферных процессов на формирование погодных аномалий.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Государственный контракт № П1152).

Saturation of planetary waves in the winter polar stratosphere of the Northern hemisphere

Pogoreltsev A.I. (apogor@rshu.ru)

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

The analysis of data assimilated in the UK Met Office model shows that there exists a strong variability of stationary planetary wave (SPW) amplitudes during winter months in the stratosphere of the Northern hemisphere. Using a numerical model of the middle and upper atmosphere, the nonlinear response of stratospheric dynamics to an increase of the SPW amplitudes at the lower boundary is investigated. The results obtained show that nonlinear wave-mean flow interaction leads to the saturation of the SPW1 (planetary wave with zonal wave number one). Further increase of the SPW1 forcing at the lower boundary caused a substantial change of the mean flow in the lower stratosphere that limits the vertical penetration of this wave into the stratosphere. In result the SPW1 amplitude in the upper stratosphere and mesosphere becomes even smaller in comparison with case of a weak forcing. It is noted the reflection of SPW1 from the winds in the lower stratosphere, which leads to a substantial increase of the wave activity in the troposphere at the high latitudes. The analysis of the SPW2 sensitivity in the stratosphere to an increase of the lower boundary forcing shows that in this case the response is approximately linear at least for the realistic (observed) SPW2 amplitudes. A possible application of the results obtained to the problem of the sudden stratospheric warmings and the influence of stratospheric processes on the formation of weather anomalies are shortly discussed.

This work was supported by Ministry of education and science of Russian Federation under contract № P1152 from the Federal Targeted Programme "Scientific and Scientific-Pedagogical Personnel of the Innovative Russia in 2009-2013".

Межгодовая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы, обусловленная динамическими процессами в тропосфере

Савенкова Е.Н.¹ (savenkova.en@mail.ru), Погорельцев А.И.¹, Jacobi Christoph²

¹*Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196, Санкт-Петербург, Россия*

²*University of Leipzig, Institute for Meteorology, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, Germany*

Зимняя стратосфера характеризуется большой внутригодовой и климатической изменчивостью, так что даже среднемесячный зональный ветер на высотах стратосферы существенно меняется от года к году. Квази-стационарные планетарные волны (СПВ) играют важную роль в динамике стратосферы в течение зимних месяцев и весеннего переходного периода. Нелинейное взаимодействие СПВ со средним потоком в стратосфере ведет к возникновению нерегулярных колебаний как амплитуды СПВ так и интенсивности

среднего потока, т.е. к генерации так называемых стратосферных васцилляций и возникновению внезапных стратосферных потеплений.

В работе исследуются возможные механизмы формирования циркуляционного режима стратосферы во время ранней и поздней весенней перестройки. Выполнен анализ изменчивости зонального потока и планетарных волн, а также их взаимодействия в течение зимне-весенних месяцев. Роль бегущих планетарных волн (нормальных атмосферных мод) исследована с помощью модели средней и верхней атмосферы. Показано, что межгодовая изменчивость дат весенней перестройки может быть объяснена интерференцией бегущих и стационарных планетарных волн.

Данная работа была поддержана контрактом № 14.740.11.0742 в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Interannual variability of the spring-time breakup of the stratospheric circulation caused by dynamical processes in the troposphere

Savenkova E.¹, Pogoreltsev A.¹, Jacobi Ch.²

¹*Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia*

²*University of Leipzig, Institute for Meteorology, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, Germany*

The winter stratosphere is characterized a large interannual and climatic variability so that even monthly mean zonal wind changes significantly from year to year at the stratospheric levels. Quasi-stationary planetary waves (SPW) play a very important role in the dynamics of the stratosphere during winter months and spring-time transition period. Nonlinear interaction SPW with the mean flow in the stratosphere leads to excitation of irregular oscillations of SPW amplitude as well as intensity of the mean flow, the so-called stratospheric vasculations and development of stratospheric sudden warming events. In this paper the possible mechanisms of generation of the stratospheric circulation regimes during early and last spring-time breakup are investigated. The analysis of behavior of the zonal-mean flow and planetary waves and their interaction during winter-spring months is performed. The role of low-frequency traveling planetary waves (the so-called normal atmospheric modes) is investigated in the middle and upper atmospheric model. It is shown that interannual variability of spring-time transition date can be explained by interference of traveling and stationary planetary waves.

This work was partially supported under contract 14.740.11.0742 from the Federal Targeted Programme “Scientific and Scientific-Pedagogical Personnel of the Innovative Russia in 2009-2013”.

Гидродинамические модели формирования атмосферных и океанических фронтов

Калашник М.В. (kalashnik-obn@mail.ru)

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Рассматриваются различные механизмы формирования атмосферных и океанических фронтов и соответствующие гидродинамические модели. Наибольшее внимание уделено двум важнейшим механизмам фронтогенеза – деформационному механизму, рассматривающему обострение начальных температурных градиентов в деформационных полях скорости [1], и механизму нелинейного геострофического приспособления [2–6]. В первой части представлен теоретический анализ системы уравнений деформационной теории, предложенный Хоскинсом и Брезертоном. Показано, что наличие ряда лагранжевых законов сохранения позволяет свести теорию к анализу системы диагностических уравнений. С помощью методов теории функции комплексных переменных построен класс явных аналитических решений, описывающих процесс фронтогенеза в гиперболическом деформационном поле. Получено выражение для характерного времени формирования

фронтов. Результаты сравниваются с эмпирическими данными, относящимися к структуре холодных атмосферных фронтов.

Во второй части исследован процесс формирования фронтов из гладкого несбалансированного начального состояния с нулевой или однородно распределенной потенциальной завихренностью. Получен класс явных решений соответствующей задачи нелинейного геострофического приспособления. Показано, что структура поверхностей разрыва, возникающих в процессе приспособления, носит универсальный характер, т.е. не зависит от деталей начальных распределений. Для описания нестационарного волнового процесса приспособления представлена упрощенная аналитическая модель, основанная на динамических уравнениях в лагранжевых переменных. Важнейший результат состоит в том, что процесс образования разрывов имеет ярко выраженный волновой характер с чередованием фаз гладкости и многозначности. На малых временах эти фазы следуют с инерционным периодом, т.е. возникает нестационарный пульсирующий фронт. Рассматриваются приложения полученных результатов к динамике шельфовых фронтов в океане и атмосферных прибрежных фронтов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 10-05-01128-а).

1. Hoskins, B.J. and Bretherton, F.P. Atmospheric frontogenesis models: Mathematical formulation and solution. *J. Atmos. Sci.*, 1972, **29**, 11–37.
2. Ou, H.W. Geostrophic adjustment: A mechanism for frontogenesis. *J. Phys. Oceanogr.*, 1984, **14**, 994–1000.
3. Wu, R. and Blumen, W. Geostrophic adjustment of zero potential vorticity flow initiated by a mass imbalance. *J. Phys. Oceanogr.*, 1995, **25**, 439–445.
4. Blumen, W. Inertial oscillation and frontogenesis in a zero potential vorticity model. *J. Phys. Oceanogr.*, 2000, **30**, 31–39.
5. Kalashnik, M.V. Formation of fronts and jet streams during geostrophic adjustment in stratified fluid. *Trans. (Doklady) Russian Akad. Sci./ Earth Sci. Section*, 1997, **357**, 8, 1261–1265.
6. Kalashnik, M.V. Geostrophic adjustment and frontogenesis in the continuously stratified fluid. *Dyn. Atmos. Oceans*, 2004, **38**, 1, 1–37.

Теория конвективной неустойчивости слоя атмосферы, насыщенного водяным паром

Шмерлин Б.Я. (shmerlin@typhoon.obninsk.org), Шмерлин М.Б., Калашник М.В.

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Предложена теория конвективной неустойчивости влажного насыщенного водяным паром вязкого и теплопроводного слоя атмосферы в постановке, свободной от использования приближения гидростатики. Соответствующая теория в приближении гидростатики была разработана нами ранее [1–4]. Построенную теорию можно считать обобщением классической задачи Релея о конвективной неустойчивости слоя атмосферы на случай наличия в атмосфере конденсации водяного пара. Система уравнений “влажной” конвекции отличается от системы уравнений Релея “сухой” конвекции только дополнительным источником тепла фазовых переходов. Этот источник пропорционален вертикальной скорости на восходящей ветви циркуляции и обращается в нуль на нисходящей ветви циркуляции. Указанная параметризация известна как “условное нагревание”. Поскольку граница области восходящих движений заранее неизвестна, система уравнений становится нелинейной.

Получено исчерпывающее аналитическое решение задачи. Построена кривая нейтральной устойчивости на плоскости определяющих параметров задачи (числа Релея и “влажного” числа Релея, характеризующего интенсивность конденсационного тепловыделения). Установлена пространственная структура нейтральных решений, соответствующих каждой точке кривой нейтральной устойчивости. Обнаружено принципиальное отличие “влажной” конвекции от “сухой” конвекции Релея: в общем случае кривая нейтральной устойчивости состоит из двух подобластей, одной из которых соответствуют локализованные в пространстве нейтральные решения. Второй подобласти кривой нейтральной устойчивости соответствуют периодические по пространству

нейтральные решения, для них характерна существенная локализация областей восходящих движений, так что коэффициент покрытия атмосферы облачностью оказывается всегда строго меньшим единицы. Пространственный период нейтральных решений меняется от пространственного периода наиболее неустойчивых возмущений классической конвекции Релея (при значении “влажного” числа Релея, равном нулю) до бесконечности на границе между подобластями кривой нейтральной устойчивости, так что переход через границу происходит непрерывным образом. При этом отношение аспекта ячеек (пространственный период к высоте) также стремится к бесконечности, а площадь покрытия атмосферы облачностью стремится к нулю на границе между подобластями. Границе между подобластями на кривой нейтральной устойчивости соответствует значение “влажного” числа Рэлея, которое естественно назвать критическим. При значениях “влажного” числа Рэлея, меньших критического, наиболее неустойчивыми возмущениями могут быть только периодические по пространству возмущения. При значениях “влажного” числа Рэлея, превосходящих критическое, наиболее неустойчивыми возмущениями могут быть как локализованные, так и периодические по пространству возмущения в зависимости от значения числа Рэлея.

Предложенная теория описывает зарождение и развитие отдельных конвективных облаков и упорядоченных облачных структур. Она позволяет с единой точки зрения интерпретировать данные натурных наблюдений и результаты уже выполненных численных исследований проблемы. Также она может явиться хорошей основой для усовершенствования параметризаций конвективной облачности в моделях тропических циклонов, общей циркуляции атмосферы, климатических моделях и т.д.

1. Шмерлин Б.Я., Калашник М.В. Структура растущих локализованных мод в модели влажной конвекции. *Изв. АН СССР. ФАО*, 1989, **25**, 4, 4221–4228.
2. Шмерлин Б.Я., Калашник М.В. Структура растущих периодических мод в модели влажной конвекции. *Изв. АН СССР. ФАО*, 1989, **25**, 8, 810–818.
3. Калашник М.В., Шмерлин Б.Я. Спонтанный рост возмущений типа урагана в модели влажной конвекции. *Изв. АН СССР. ФАО*, 1990, **26**, 8, 787–793.
4. Калашник М.В., Шмерлин Б.Я. О конвективной неустойчивости влажного насыщенного слоя. *Изв. АН СССР. ФАО*, 1990, **26**, 10, 1034–1044.

A theory of convective instability of the atmospheric layer saturated with water vapor

Shmerlin B.Ya. (shmerlin@typhoon.obninsk.org), Shmerlin M.B., Kalashnik M.V.
SPA “Typhoon”, Institute of Experimental Meteorology; st. Pobeda, 4, 249038 Obninsk, Kaluga reg., Russia

An analytical theory of convective instability of the saturated with water vapor, viscous and heat conductive atmospheric layer in an approach that is free from hydrostatic approximation is developed. The corresponding theory under the hydrostatic approximation was developed earlier [1–4]. The theory proposed can be considered as a generalization of the classical Rayleigh theory of atmospheric layer convective instability at water vapor condensation in the atmosphere. The equation system of “moist” convection differs from that of the classical Rayleigh “dry” convection only by an additional heat source caused by the condensation heat release. This source is proportional to the vertical velocity on the circulation ascending branch and turns to zero on the descending one. The parameterization mentioned is known as the “conventional heating”. Since the boundary of the ascending motion is unknown, the system becomes nonlinear.

A comprehensive analytical solution was obtained. The curve of neutral stability on the plane of the key parameters (the Rayleigh number and the “moist” Rayleigh number characterizing the intensity of condensation heat release) is constructed. The spatial structure of neutral solutions corresponding to each point on the curve of neutral stability is established. The fundamental difference between “moist” convection and a “dry” Rayleigh convection is found: neutral stability curve consists of two subregions, one of which corresponds to localized in space neutral solutions. Periodic in space neutral solutions correspond to the second subregion of the curve of neutral

stability. They are characterized by considerable localization of updrafts, so that the coverage ratio of clouds is strictly less than unity. The spatial period of neutral solutions is changing from the spatial period of the most unstable perturbations of the classical Rayleigh convection (when the "moist" Rayleigh number is zero) to infinity at the boundary between the subregions of the neutral stability curve, so that crossing the border is a continuous way. The boundary between subregions in the curve of neutral stability corresponds to the "moist" Rayleigh number that is reasonably to be called critical. For "moist" Rayleigh numbers less than critical, the most unstable perturbations can be only those periodic in space. For "moist" Rayleigh numbers exceeding the critical value, the most unstable perturbations can be both localized and periodic in space depending on the value of the Rayleigh number.

The theory proposed describes the origin and development of localized convective clouds and cloud-ordered structures. It allows one from a single point of view to interpret the results of numerical studies carried out on the problem. It can be a good basis for improving parameterizations of convective clouds in models of tropical cyclones, atmospheric general circulation, climate models, etc.

1. Shmerlin B.Ya., Kalashnik M.V. I Structure of Growing Localized Modes in a Moist Convection Model. *Izv., Atmospheric and Oceanic Physics*, 1989, **25**, 4, 307–312.
2. Shmerlin B.Ya., Kalashnik M.V. Structure of Amplifying Periodic Modes in a Model of Moist Convection. *Izv., Atmospheric and Oceanic Physics*, 1989, **25**, 8, 599–604.
3. Kalashnik M.V., Shmerlin B.Ya. Spontaneous Grows of Hurricanelike Disturbances in a Moist Convection Model. *Izv., Atmospheric and Oceanic Physics*, 1990, **26**, 8, 577–581.
4. Kalashnik M.V., Shmerlin B.Ya. Convective Instability for a Moist Saturated Layer. *Izv., Atmospheric and Oceanic Physics*, 1990, **26**, 10, 759–765.

Учет вертикальной скорости в модели планетарных волн Россби в атмосфере

Грицаева М.Н. (marinagric@mail.ru), Закинян Р.Г.

Ставропольский государственный университет, ул. Пушкина 1, 355000 Ставрополь, Россия

В атмосфере, равно как и в океане, наблюдается исключительно большое разнообразие волновых и вихревых движений, что обусловлено влиянием сил различного происхождения на динамику атмосферы и океана. С практической точки зрения особый интерес представляют волны синоптического масштаба и связанные с ними синоптические вихри (синоптический масштаб в атмосфере соответствует системам движения, имеющим горизонтальные размеры порядка 10³ км и характерное время существования – несколько суток). В погодных процессах и явлениях особенно большую роль играют планетарные волны или волны Россби. Однако в силу исключительно сложного характера волновых движений все более широкое распространение получает вероятностно-статистический подход к описанию волновых движений, поэтому большое значение имеет теоретическое исследование данных движений. При анализе уравнений динамики атмосферы ввиду их математической сложности делаются допущения, которые позволяют упростить задачу и решить ее аналитически или численно. Однако эти допущения не всегда адекватно отражают реальное поведение атмосферы. Поэтому анализ допущений уравнений динамики атмосферы является актуальным.

Целью нашей работы является установление изменения характера волновых движений при учете вертикальной составляющей скорости. В модели Россби предполагается отсутствие вертикальной скорости движения частиц воздуха, что является сильным приближением для условий атмосферы. Рассмотрим уравнение переноса вихря с учетом следующих приближений: а) атмосфера баротропна; б) движение бездивергентное; в) среда не вязкая. В отличие от модели Россби вертикальная скорость отлична от нуля. В результате горизонтальная дивергенция не будет равна нулю. Однако при этом пренебрежем изменением вертикальной скорости в горизонтальной плоскости. Учитывая все

вышеуказанное в уравнении переноса вихря скорости движения и преобразовав вихрь скорости в абсолютный вихрь, получаем уравнение, которое будет описывать волны в данной модели. Кроме того, учтем, что в умеренных широтах преобладает широтный перенос (западный), и представим горизонтальные проекции скорости в виде основного геострофического потока и наложенного на него возмущения, то есть отклонения скорости от геострофического потока.

В результате преобразований получено решение уравнения абсолютного вихря, которое имеет тот же вид, что и решение Россби, а выражение для скорости волны будет такой же, что и волны Россби. Однако изменятся выражения для горизонтальных скоростей частиц воздуха, с которыми будут двигаться частицы под волной. В меридиональной проекции скорости появится дополнительное слагаемое. Анализ полученных выражений позволил установить, что при учете вертикальной скорости в модели волн Россби волна изменит направление движения. Она будет двигаться под углом к параллели, зависящим от широты и вертикальной скорости.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г.г. (№ 02. 740. 11. 0739)

Определение характеристик внутренних гравитационных волн методом анализа годографа скорости ветра по данным радиозондовых измерений в приэкваториальной атмосфере Земли

Губенко В.Н.¹ (vnngubenko@gmail.com), Салимзянов Р.Р.¹, Павельев А.Г.¹, Андреев В.Е.¹, Павельев А.А.¹, Занг К.², Кулешов Ю.^{2,3}

1Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. ак. Б.А. Введенского д. 1, 141190 Московская обл., г. Фрязино, Россия

2Центр космических исследований, Мельбурн, Австралия

3Центр космических исследований, Австралийское бюро метеорологии, Мельбурн, Австралия

Данные радиозондовых измерений скорости ветра, проведенных в 2007 году, были использованы для идентификации внутренних гравитационных волн (ВГВ) и определения их параметров в нижней стратосфере (18–30 км) Земли в районе Кокосовых островов (12.04° ю.ш., 96.90° в.д.). Анализ годографа скорости ветра показал, что наблюдаемые флуктуации скорости обусловлены распространением ВГВ в атмосфере, энергия которых переносится вверх.

Используя результаты анализа годографа скорости ветра, дисперсионное и поляризационные соотношения для внутренних гравитационных волн, были определены ключевые характеристики волн, такие как собственная частота, амплитуда вертикальных и горизонтальных возмущений скорости ветра, вертикальная и горизонтальная длина волны, собственная вертикальная и горизонтальная фазовая (и групповая) скорости, кинетическая и потенциальная энергия волн.

В работе предлагается оригинальный метод, позволяющий определять частоту волны в системе отсчета земного наблюдателя и азимутальное направление распространения ВГВ в атмосфере Земли. Применение этого метода к данным радиозондовых измерений 28 февраля 2007 г. позволило установить следующее: частота волны в системе отсчета земного наблюдателя равна $14.0 \cdot 10^{-4}$ рад/с, что соответствует периоду $T = 1.25$ часа. Азимутальное направление горизонтальной компоненты волнового вектора совпадает с направлением горизонтальной фазовой скорости в системе отсчета земного наблюдателя, составляя угол – 47.6° по отношению к оси запад-восток.

Работа выполнена при поддержке гранта №10-02-01015-а Российского фонда фундаментальных исследований и программы ОФН-15 РАН

Determination of internal gravity wave characteristics by a hodograph analysis method of the wind speed on the basis of radiosonde data in the Earth's near-equatorial atmosphere

Gubenko V.N.¹ (vngubenko@gmail.com), Salimzyanov R.R.¹, Pavelyev A.G.¹, Andreev V.E.¹, Pavelyev A.A.¹, Zhang K.², Kuleshov Y.^{2,3}

¹*Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Vvedenskogo sq. 1, 141190 Fryazino, Moscow region, Russia*

²*SPACE Research Centre, Melbourne, Australia*

³*Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia*

Radiosonde measurement data of the wind speed, conducted in 2007, have been used for the internal gravity waves (IGWs) identification and determination of their parameters in the Earth's lower stratosphere (18–30 km) over Cocos Islands (12.04° S, 96.90° E). A wind speed hodograph analysis has shown that observed wind fluctuations are wave-induced while the wave energy propagates upwards.

Using the results of wind speed hodograph analysis, dispersion and polarization relationships, we have obtained the magnitudes of key wave parameters such as the intrinsic frequency, amplitudes of vertical and horizontal perturbations of the wind velocity, vertical and horizontal wavelengths, intrinsic vertical and horizontal phase (and group) speeds, wave kinetic and potential energy.

An original method for the determination of the ground-based wave frequency and azimuth direction of the IGW propagation in the Earth's atmosphere has been proposed. An application of the method to the radiosonde measurements, conducted 28 February 2007, has given the possibility to establish following: the ground-based wave frequency is equal to $14.0 \cdot 10^{-4}$ rad/s that corresponds to the apparent wave period $T = 1.25$ hours, and the angle between azimuth direction of the horizontal component of wave vector and the west-east axis is equal to -47.6° .

This work was supported by the RFBR grant No. 10-02-01015-a, and by the program OFN-15 of the RAS.

Исследование внутренних гравитационных волн методом анализа пороговых амплитуд сдвиговой неустойчивости по данным радиозатменных восстановлений профилей температуры в стратосфере Земли

Губенко В.Н.¹ (vngubenko@gmail.com), Павельев А.Г.¹, Андреев В.Е.¹, Салимзянов Р.Р.¹, Викерт Е.², Лиу Й.³

¹*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. ак. Б.А. Введенского д. 1, 141190 Московская обл., г. Фрязино, Россия*

²*Центр геофизических исследований (GFZ), Потсдам, Германия*

³*Национальный центральный университет, Чунг-Ли, Тайвань*

Разработана методика определения параметров внутренней гравитационной волны (ВГВ) по измерению индивидуального вертикального профиля температуры или плотности в атмосфере Земли. Эта методика может быть использована при анализе профилей, измеренных любыми способами. Сформулирован и обоснован критерий идентификации ВГВ, в случае выполнения которого наблюдаемые флуктуации температуры или плотности могут рассматриваться как волновые проявления. Методика базируется на анализе относительных амплитудных порогов волнового поля температуры или плотности, а также на положении линейной теории насыщенных ВГВ, согласно которому амплитудные пороги ограничиваются процессами динамической неустойчивости атмосферы.

Для апробации методики были привлечены данные одновременных *in situ* баллонных измерений температуры и скорости ветра в стратосфере Земли (Франция), где было обнаружено распространение вверх насыщенной ВГВ. Все измеренные в баллонном

эксперименте волновые параметры были реконструированы нами с погрешностью не более ~ 30 % на основе температурных данных. Применение методики к температурным профилям, восстановленным в радиозатменных экспериментах, дало возможность идентифицировать ВГВ в нижней стратосфере Земли и определить величины ключевых волновых параметров, таких как собственная частота, амплитуда вертикальных и горизонтальных возмущений скорости ветра, вертикальная и горизонтальная длина волны, собственная вертикальная и горизонтальная фазовая (и групповая) скорости, кинетическая и потенциальная энергия, вертикальные потоки волновой энергии и горизонтального импульса. Представлены и обсуждаются результаты исследования внутренних волн, полученные на основе анализа температурных данных радиозондирования атмосферы Земли с помощью спутников CHAMP и COSMIC GPS.

Работа выполнена при поддержке гранта №10-02-01015-а Российского фонда фундаментальных исследований и программы ОФН-15 РАН

Investigation of internal gravity waves by the method of analysis of shear instability threshold amplitudes from the radio occultation retrievals of temperature profiles in the Earth's stratosphere

Gubenko V.N.¹, Pavelyev A.G.¹, Andreev V.E.¹, Salimzyanov R.R.¹, Wickert J.², Liou Y.-A.³

¹*Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Vvedenskogo sq. 1, 141190 Fryazino, Moscow region, Russia*

²*GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam, Germany*

³*National Central University, Chung-Li, Taiwan*

A method for the reconstruction of internal gravity wave (IGW) parameters from a single vertical temperature or density profile measurement in the Earth's atmosphere has been developed. This method does not require any additional information not contained in the profile and may be used for the analysis of profiles measured by various techniques. The criterion for the IGW identification has been formulated and argued. In the case when this criterion is satisfied, then analyzed temperature or density fluctuations can be considered as wave-induced. The method is based on the analysis of relative amplitude thresholds of the temperature or density wave field and on the linear IGW saturation theory in which amplitude thresholds are restricted by dynamical (shear) instability processes in the atmosphere. When the amplitude of an internal gravity wave reaches the shear instability limit, energy is assumed to be dissipated in such a way that the amplitude is maintained at the instability limit as the wave propagates upwards.

In order to approbate the method we have used in situ data of simultaneous balloon high-resolution measurements of the temperature and wind velocity in the Earth stratosphere (France) where a long-period inertia-gravity wave propagating upward has been detected. Using the temperature data only, we have reconstructed all the measured wave parameters with uncertainties not larger than 30%. An application of the method to the radio occultation temperature data has given the possibility to identify the IGW in the Earth's lower stratosphere and to determine the magnitudes of key wave parameters such as the intrinsic frequency, amplitudes of vertical and horizontal perturbations of the wind velocity, vertical and horizontal wavelengths, intrinsic vertical and horizontal phase (or group) speeds, kinetic and potential energy, vertical fluxes of the wave energy and horizontal momentum. The obtained results of internal wave studies in the Earth's stratosphere deduced from the COSMIC and CHAMP GPS occultation temperature profiles have been presented and discussed.

This work was supported by the RFBR grant No. 10-02-01015-a, and by the program OFN-15 of the RAS.

Исследование характеристик акустико-гравитационных волн на основе моделирования

Перевалова Н.П.¹ (pereval@iszf.irk.ru), Полякова А.С.¹, Погорельцев А.И.² (apogor@rshu.ru)

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия*

²*Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия*

Modeling study of acoustic-gravity wave characteristics

Perevalova N.P.¹, Polyakova A.S.¹, Pogoreltsev A.I.²

¹*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia*

²*Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia*

С использованием численной модели для расчета вертикальной структуры акустико-гравитационных волн (АГВ) в неизотермической, стратифицированной по плотности атмосфере при наличии зависящего от высоты фонового ветра и учете молекулярной диссипации, обусловленной вязкостью и теплопроводностью, исследованы характеристики АГВ различных масштабов (длины волн 100–1200 км, периоды 10–50 мин) в различных геофизических условиях. Установлено, что все рассматривавшиеся типы АГВ эффективно достигают высот термосферы вне зависимости от скорости и направления фонового ветра. Волны с большими периодами и длинами волн имеют большую амплитуду, менее подвержены диссипации в термосфере и могут проникать на большие высоты. Характер высотного профиля амплитуды зависит от масштабов АГВ. Амплитуда крупномасштабных АГВ (длины волн более 1000 км) растет до высоты ~ 120 км, после чего мало меняется с высотой. Среднемасштабные АГВ с длинами волн 100–500 км имеют максимум амплитуды на высотах 120–130 км и достаточно быстро затухают выше этого уровня. В области высот 0–50 км амплитуда среднемасштабных АГВ незначительна.

Сезонные и широтные различия в поведении высотных профилей амплитуды АГВ обусловлены фоновым ветром и температурой. Имеется зависимость от направления распространения АГВ, наиболее выраженная для волн средних масштабов. Указанная зависимость обусловлена высотным распределением скорости фонового зонального ветра в атмосфере. Сильный ветер в термосфере вызывает снижение высоты максимума и уменьшение максимальной амплитуды АГВ, распространяющихся по ветру, а также быстрое затухание этих волн на высотах выше 150 км. Рассчитанные амплитуды и высоты максимума для волн, распространяющихся против ветра, существенно больше, диссипация этих волн с высотой происходит медленнее. Для крупномасштабных волн сезонные и широтные отличия в характере высотных профилей амплитуды выражены слабо. При сильном ветре в термосфере амплитуды волн,двигающихся против ветра, в 1.5–2 раза выше, но характер высотного профиля такой же, как для волн противоположного направления. Таким образом, АГВ с большой длиной волны менее подвержены влиянию фоновых характеристик атмосферы. Установлено, что изменение уровня геомагнитной активности влияет на высотное распределение фонового ветра в высоких широтах, что приводит к изменению высотной структуры АГВ.

Работа выполнена при поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 56, Российского фонда фундаментальных исследований (грант 10-05-00113-а), а также Министерства образования и науки Российской Федерации (Госконтракт № 14.740.11.0078).

Анализ текущих спектров долгопериодных вариаций параметров верхней атмосферы Земли

Шпынев Б.Г.¹ (shpynev@iszf.irk.ru), Ойнац А.В.¹, Черниговская М.А.¹, Белинская А.Ю.²

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

²Алтае-Саянский филиал Геофизической службы СО РАН, пр. Ак. В.А. Коптюга 3, 630090 Новосибирск, Россия

В работе проводится исследование долговременных вариаций параметров верхней атмосферы Земли на основе текущих спектров, позволяющих выявлять время интенсификации колебаний с разными периодами. Анализируются данные геофизических обсерваторий сибирского региона и данные спутникового зондирования. Наземные измерения представлены длинными рядами данных ионозондов в Иркутске и Новосибирске, данными иркутского радара некогерентного рассеяния. Спутниковые данные по температуре в мезосфере представлены данными прибора MLS на спутнике EOS AURA и данными полного электронного содержания системы GPS. Данные разных измерений рассматриваются на предмет связи вариаций измеряемых параметров с крупномасштабными волновыми процессами в нейтральной атмосфере.

В результате анализа текущих спектров установлено, что основная часть энергии долгопериодных колебаний в ионосфере и в MLT регионе выделяется в диапазоне периодов 25–28 суток и соответствует периодичности прохождения активных областей по поверхности Солнца. Эти периодичности отличаются вследствие разницы сидерических периодов вращения солнечной поверхности на экваторе и вблизи полюсов. Интенсификация каждой из колебательных мод длится 3–5 оборотов, пока на Солнце существует активная область. Для разных уровней солнечной активности есть выделенные гармоники. Так для начала активности 23-го цикла в 1998 году преобладали гармоники 24–26 суток, в максимуме активности 2002–2003 преобладала гармоника 29 суток. Наиболее отчетливо солнечная составляющая колебательной энергии отражена в критической частоте ионосферы foF2 и высоте максимума hmF2. В меньшей степени эти периодичности проявляются в ПЭС GPS, хотя общая тенденция усиления указанных периодов также присутствует.

Следующий по величине амплитуды колебаний является период ~ 14 суток, соответствующий разнице фаз солнечного термального и лунного гравитационного приливов. Эта мода колебаний наиболее проявлена в ночное время (в 03–06 LT) в данных высоты максимума hmF2 и в foF2. При низкой солнечной активности этот период также наблюдается в данных ПЭС GPS. В мезосфере по данным температуры зонда MLS EOS Aura периодичность ~ 14 –15 суток является основной в динамике средней ночной и средней дневной температуры в 2008–2009 гг. Значимыми являются также колебания с периодом ~ 10 суток, являющиеся третьей гармоникой основных вынуждающих колебаний.

По данным ПЭС GPS, ряд которых является самым продолжительным, были исследованы более длительные (межсезонные) вариации. Кроме периода в $\frac{1}{2}$ года, как в дневных, так и в ночных данных, значительную амплитуду имеет треть годовая гармоника (210–260 суток). Интенсивности этих колебательных мод для дневных условий коррелируют с солнечной активностью.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 09-05-00757.

Influence of orographic waves on the general circulation and ozone transport in the atmosphere

Koval A.V., Gavrilov N.M. (gavrilov@pobox.spbu.ru)

Saint-Petersburg State University, Atmospheric Physics Department, 1 Ulyanovskaya St, St. Petersburg, 198504, Russia

Parameterization of orographic waves is included into a numerical model of general circulation of the atmosphere from the ground up to the thermosphere. The response of atmospheric circulation on the orographic wave forcing is studied. Propagation of orographic waves from the ground and their dynamical and heating impacts make changes in the mean flow speed in the middle and upper atmosphere. Inhomogeneous distribution of mountain regions leads to inhomogeneities in general circulation. Changes in the mean vertical velocity due to orographic wave impact may create variations of global fluxes of ozone and other atmospheric constituents produced by general circulation.

Метод идентификации внутренних гравитационных волн и определение их параметров по данным анализа радиозатменных восстановлений профилей температуры в атмосферах Марса и Венеры

Губенко В.Н. (vngubenko@gmail.com), Андреев В.Е., Павельев А.Г., Салимзянов Р.Р.

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. ак. Б.А. Введенского д. 1, 141190 Московская обл., г. Фрязино, Россия

Разработана оригинальная методика определения параметров внутренней гравитационной волны (ВГВ) по измерению индивидуального вертикального профиля температуры в атмосферах планет земной группы. Эта методика может быть использована при анализе высотных профилей, измеренных любыми способами. Сформулирован и обоснован критерий идентификации ВГВ, в случае выполнения которого наблюдаемые флуктуации температуры могут рассматриваться как волновые проявления. Методика базируется на анализе относительных амплитудных порогов волнового поля температуры, а также на положении линейной теории насыщенных ВГВ, согласно которому амплитудные пороги ограничиваются процессами динамической (сдвиговой) неустойчивости атмосферы. Предполагается, что когда амплитуда внутренней гравитационной волны достигает предела сдвиговой неустойчивости по мере распространения волны вверх, диссипация волновой энергии происходит таким образом, что амплитуда ВГВ поддерживается на уровне порога атмосферной неустойчивости. Применение методики к вертикальным профилям температуры, восстановленным в радиозатменных экспериментах, дало возможность идентифицировать ВГВ в атмосферах Венеры и Марса и определить величины ключевых волновых параметров, таких как собственная частота, амплитуда вертикальных и горизонтальных возмущений скорости ветра, вертикальная и горизонтальная длина волны, собственная вертикальная и горизонтальная фазовая (и групповая) скорости, кинетическая и потенциальная энергия волн, вертикальные потоки волновой энергии и горизонтального импульса.

Представлены и обсуждаются результаты исследования внутренних гравитационных волн, полученные на основе анализа температурных данных радиозондирования атмосфер Венеры и Марса с помощью спутников Венера 15 и 16, Magellan и Mars Global Surveyor.

Работа выполнена при поддержке гранта №10-02-01015-а Российского фонда фундаментальных исследований и программы ОФН-15 РАН.

A method of the internal gravity waves identification and determination of their parameters from analysis of the radio occultation retrievals of temperature profiles in the atmospheres of the Mars and Venus

Gubenko V.N. (vngubenko@gmail.com), Andreev V.E., Pavelyev A.G., Salimzyanov R.R.
*Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Vvedenskogo sq. 1, 141190 Fryazino,
Moscow region, Russia*

An original method for the determination of internal gravity wave (IGW) parameters from a single vertical temperature profile measurement in a planetary atmosphere has been developed. This method does not require any additional information not contained in the profile and may be used for the analysis of profiles measured by various techniques. The criterion for the IGW identification has been formulated and argued. In the case when this criterion is satisfied, then analyzed temperature fluctuations can be considered as wave-induced. The method is based on the analysis of relative amplitude thresholds of the temperature wave field and on the linear IGW saturation theory in which amplitude thresholds are restricted by dynamical (shear) instability processes in the atmosphere. When the amplitude of an internal wave reaches the shear instability limit, energy is assumed to be dissipated in such a way that the amplitude is maintained at the instability limit as the wave propagates upwards. An application of the method to the radio occultation data gave the possibility to identify the IGW in the Venus's and Mars's atmospheres and to determine the magnitudes of key wave parameters such as the intrinsic frequency, amplitudes of vertical and horizontal perturbations of the wind velocity, vertical and horizontal wavelengths, intrinsic vertical and horizontal phase (or group) speeds, wave kinetic and potential energy, vertical fluxes of the wave energy and horizontal momentum.

The obtained results of internal wave studies in the Venus's and Mars's atmospheres deduced from the Venera 15 and 16, Magellan and Mars Global Surveyor occultation temperature profiles are presented and discussed.

This work was supported by the RFBR grant No. 10-02-01015-a, and by the program OFN-15 of the RAS.

Изменения характеристик эмиссий и температуры мезопаузы во время стратосферных потеплений

Перцев Н.Н. (n.pertsev@bk.ru), Перминов В.И.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Change in mesopause emission characteristics during stratospheric warmings

Pertsev N.N., Perminov V.I.
Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Science, Moscow

Внезапные стратосферные потепления (ВСП) являются наиболее масштабными событиями в зимней средней атмосфере, длящимися от нескольких суток до нескольких недель. Они характеризуются изменением в ветровой системе в полярной области стратосферы и, как следствие этого, значительным увеличением температуры (> 25 K). Согласно теоретическим исследованиям природа ВСП связана с распространением вверх крупномасштабных планетарных волн, возникающих в тропосфере, и их взаимодействием со страто-мезосферным циркумполярным вихрем [1, 2]. При конвергенции потока волновой энергии происходит замедление западного зонального потока (вплоть до его обращения), усиление меридионального ветра к полюсу и вертикального движения вниз. В результате наблюдается значительный адиабатический разогрев, охватывающий высокоширотную стратосферу.

В данной работе исследуются изменения характеристик эмиссий молекулярного кислорода (полоса (0-1) Атмосферной системы с высотой максимума излучения 95 км) и

гидроксила (полоса (6-2) с высотой максимума излучения 87 км) во время ВСП в январе–феврале 2010 г., а также по многолетним (2000–2010 гг.) данным спектральных измерений в Звенигороде. Анализируются интенсивности обеих эмиссий, вращательная температура гидроксила и ее внутри-ночные стандартные отклонения как индикатор волновой активности в течение ночи. Результаты статистического анализа по методу наложения эпох показывают, что на максимум ВСП приходятся минимумы в температуре и интенсивности эмиссий мезопаузы. Однако через 5 дней после максимума ВСП во всех случаях наблюдаются сильные максимумы в характеристиках эмиссий: в интенсивностях – увеличение в 1.7–2 раза относительно их минимальных значений, в температуре – рост на 17 К относительно ее минимума, и в активности волн в течение ночи – повышение в 1.5 раза. Эти максимумы в характеристиках эмиссий мезопаузы не прогнозируются современными моделями развития ВСП и его отклика в верхней атмосфере.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ, грант 10-05-00198а.

1. Holton, J. R. The Influence of Gravity Wave Breaking on the General Circulation of the Middle Atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 1983, **40**, 2497–2507.
2. Matsuno, T. A Dynamical Model of the Stratospheric Sudden Warming. *J. Atmos. Sci.*, 1971, **28**, 1479–1494.

Signatures of atmospheric long-period oscillations in seismometric data

Ermolenko S.I.¹ (natale_spb@mail.ru), Karpova N.V.¹, Shved G.M.¹, Wendt S.², Jacobi Christoph³

¹*St. Petersburg State University, Department of Atmospheric Physics, Ulyanovskaya 1, 198504 Saint-Petersburg, Russia*

²*Institute of Geophysics and Geology, University of Leipzig, Talstr. 35, D-04103 Leipzig, Germany*

³*Institute for Meteorology, University of Leipzig, Stephanstr. 3, D-04103 Leipzig, Germany*

In the 1960s, Lin'kov with colleagues from St. Petersburg University [1] first detected oscillations of much longer periods than day from records of zero drift of vertical seismometer. For example, strong oscillations of ~ 15, 25, and 50 day periods have been revealed. However, the origin of these oscillations remained unclear.

Here, we analyze measurements, made by a three-channel seismometer at Collm Observatory (51.3°N, 13°E) in 2002, together with simultaneous measurements of atmospheric pressure variations by a microbarometer. Power spectra have been obtained for the Z-, N-, and E-channels of the seismometer. These spectra show oscillations at periods of several days for all of the channels. Likewise, the spectra of pressure variations show a strong features similar periods. The comparisons of seismometric running spectra for all the channels and with microbarometric running spectrum have been made for annual series over the 30-day window sliding along the series with the 1-day step. As a result, common features in the 3–20 day period range have been confidently revealed in all four running spectra. In particular, joint spectral peaks have been found in the pressure and Z-component series in summer, and in the pressure and N-component in winter.

The frequencies of common spectral features change with time. The features in seismometric spectra may be explained as signatures of planetary atmospheric waves. For now, a physical mechanism of action of planetary waves on 'mass' seismometer remains unknown yet.

This research was supported by German-Russian Interdisciplinary Science Center (Pr. G-2011a-1).

1. Lin'kov E.M. *Seismic phenomena*. Leningrad University Press, 1987.

Влияние стратосферных волн на приземную конвекцию

Ларченко И.Н., Закинян Р.Г. (zakinyan@mail.ru)

Ставропольский государственный университет, ул. Пушкина 1, 355000 Ставрополь, Россия

Существует динамическая взаимосвязь между тропосферой и стратосферой: стратосферные процессы влияют на распространение планетарных волн, которые в свою очередь влияют на термическую структуру и циркуляцию стратосферы. Изменение динамического режима стратосферы может влиять на циркуляцию тропосферы, например, через отражение планетарных волн и их последующее распространение в тропосферу. Наиболее ярко стратосферно-тропосферное взаимодействие проявляется во время подготовки и развития событий внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Однако до настоящего времени не существует точного теоретического объяснения всех особенностей механизма динамической взаимосвязи стратосферы и тропосферы. Поэтому целью исследования является разработка математической модели, описывающей влияние стратосферных волн на развитие конвекции в тропосфере.

С некоторой точки зрения атмосфера Земли представляет собой колебательную систему, в которой существуют собственные (резонансные) глобальные колебания, так называемые нормальные атмосферные моды. В работах, посвященных изучению свойств собственных колебаний атмосферы, возможные источники возбуждения не рассматриваются, а лишь отмечается, что любой случайный метеорологический шум должен приводить к их генерации. С другой стороны, известно, что в результате взаимодействия стационарных планетарных волн (СПВ) со средним потоком в стратосфере возникают квазипериодические осцилляции как среднего потока, так и амплитуды СПВ – так называемые стратосферные «васцилляционные циклы» или просто «васцилляции».

В данном исследовании показано, что волны в стратосфере будут вызывать конвективные движения в тропосфере. Данное движение является фоном, на котором развивается приземная конвекция. Для определения условий возникновения конвекции сухого воздуха в приземном слое в рамках двумерной модели рассмотрим уравнение движения идеальной жидкости в форме Эйлера в инерциальной системе отсчета, без учета вращения Земли. Результирующее движение частиц воздуха происходит в результате наложения возмущения, вызываемого волнами в стратосфере, и возмущения, вызываемого прогревом земной поверхности. Таким образом, в результате наложения двух возмущений, вызванных волнами в стратосфере и наземной конвекцией, возникает результирующее колебание, которое в общем случае может иметь произвольный характер. В частности, при одинаковой амплитуде возмущений и близких волновых числах может возникнуть пространственное биение, т.е. усиление и ослабление амплитуды наземной конвекции, вызванной модуляцией стратосферных волн.

Выражаем благодарность Погорельцеву А.И. за полезное обсуждение проблемы.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (№ 02. 740. 11. 0739).

СЕКЦИЯ 8. "СТРУКТУРА И СОСТАВ СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ПЛАНЕТ"

Председатель: д.ф.-м.н. **С.П. Смышляев** (РГГМУ, СПб)

Сопредседатели: д.ф.-м.н. **А.И. Семенов** (ИФА РАН, Москва), к.ф.-м.н.

А.М. Задорожный (НГУ, Новосибирск), Dr. **Eugene Rozanov** (World Radiation Center, Davos, Switzerland)

SESSION 8. "STRUCTURE OF MIDDLE AND UPPER ATMOSPHERE OF THE EARTH AND OTHER PLANETS"

Chairman: Prof. **S.P. Smyshlyaev** (RSHU, SPb)

Co-chairmen: Prof. **A.I. Semenov** (IFA RAS, Moscow), Dr. **A.M. Zadorozhny** (NGU, Novosibirsk), Dr. **E. Rozanov** (World Radiation Center, Davos, Switzerland)

Peculiarities of summer midlatitude mesosphere/lower thermosphere parameters during solar minimum 23/24

Jacobi Christoph¹ (jacobi@uni-leipzig.de), Unglaub Claudia¹, Hoffmann Peter¹, Placke Manja², Stober Gunter²

¹University of Leipzig, Institute for Meteorology, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, Germany

²Leibniz-Institute of Atmospheric Physics at the Rostock University, Germany

The recent solar minimum 23/24 has been characterized by an anomalous strong decrease in thermospheric density since 2005. This raises the question to what extent this anomalous behaviour is also visible at lower altitudes, in particular in the mesosphere and lowermost thermosphere. Parameters of this region are investigated here, mainly using local low-frequency height and horizontal drift measurements and VHF meteor radar winds and mean meteor height measurements at Collm, Germany (51.3°N, 13°E). Together with satellite data from the SABER instrument on board the TIMED satellite it is investigated, to which extent the lower thermosphere and mesosphere in summer also show anomalous effects that may be owing to the extreme solar minimum. Nighttime mean low-frequency radio wave reflection heights, which are available until 2007, show a very strong decrease after 2005, indicating a density decrease of the middle atmosphere. This decrease, although weaker, is also visible in a decrease of mean meteor heights as measured with the VHF meteor radar at Collm. The density decrease is accompanied by an increase of ionospheric lower E region horizontal drift fluctuations, which can be associated with gravity wave activity. Simultaneously, upper mesospheric gravity wave amplitudes measured with the Collm meteor radar as well as potential gravity wave energy derived from SABER/TIMED satellite temperature profiles show an increasing trend since the maximum of solar cycle 23. At greater altitudes, i.e., in the lower thermosphere, this trend reverses, which is in accordance with linear theory. Since 2010, there is a possible return to the situation before the solar minimum.

Некоторые связи вариаций глобального поля общего озона и гелио-геофизических индексов и параметров

Вишератин К.Н. (kvisher@typhoon.obninsk.ru)

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Попытки связать изменения полей общего озона (ОСО) с вариациями отдельных гео и гелиофизических факторов предпринимались неоднократно. В настоящей работе в качестве возможных предикторов вариаций ОСО рассмотрен широкий круг гелио-космических факторов (вариации галактических космических частиц, геомагнитной активности, солнечной постоянной и т.д.) и геофизических факторов (скорость и направление стратосферных ветров, содержание хлорфторметанов, вариации CO₂, глобальные и

крупномасштабные индексы, такие как температура различных участков суши и океана и т.д.).

Среднезональные среднемесячные ряды ОЗО были сформированы на основе 8-х версий спутниковых данных TOMS и TOMS-SBUV. Использовались также более длинные временные ряды некоторых наземных озоновых станций.

Регрессионный и композитный спектральный методы, использовавшиеся в качестве инструментов анализа, позволили выявить, что некоторые особенности вариаций ОЗО, в том числе долговременные, связаны с вариациями температуры подстилающей поверхности суши и океана и концентрации углекислого газа. Предполагается, что эта связь может быть обусловлена температурным эффектом за счет влияния углекислого газа на температуру тропосферы и результирующим изменением скоростей фотохимических реакций при охлаждении стратосферы.

Some links between the global total ozone variability and helio-geophysical indices and parameters

Visheratin K.N. (kvisher@typhoon.obninsk.ru)

Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, Moscow Region, Russia

Attempts to link the total ozone variability with changes in separate geophysical and helio-geophysical factors were undertaken repeatedly. In this work extended set of possible total ozone predictors is used including extraterrestrial (galactic cosmic rays, geomagnetic activity, solar irradiance, etc.) and geophysical factors (velocity and direction of stratospheric winds, effective chlorine and carbon dioxide variations, large-scale geophysical indices such as land and SST surface temperatures, etc). The TOMS and TOMS-SBUV total ozone data (zonally averaged monthly mean time series) and the longer time series of ground-based observations were used.

The effects of predictors on total ozone analyzed by means of multiple regression analysis and composite spectral method. Analysis has showed that some features of TO variability, including long-time variations can be associated with changes in sea-land surface temperatures and carbon dioxide concentration. This linkage can be caused by effect of carbon dioxide on troposphere-stratosphere temperature and changes of the rates of photochemical reactions.

Пространственные вариации температуры атмосферы на высотах излучения эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм

Медведева И.В.¹ (ivmed@iszf.irk.ru), Семенов А.И.², Шефов Н.Н.²

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия*

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

Spatial variations of the atmospheric temperature at the heights of emitting layer of the 557.7 nm atomic oxygen emission

Medvedeva I.V.¹, Semenov A.I.², Shefov N.N.²

¹*Institute of Solar-Terrestrial Physics (ISTP), Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

²*Obukhov Institute of Atmospheric Physics (IAP), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

На основе эмпирической модели, описывающей для различных гелиогеофизических условий вариации характеристик эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм – интенсивности, температуры и высоты максимума излучающего слоя, в работе [1] было выявлено, что результаты конкретных измерений для различных времен года удовлетворительно описываются одинаковыми аналитическими формулами. На основе статистических закономерностей долготных вариаций интенсивности и температуры эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм были получены корреляционные соотношения, позволяющие делать

оценки долготных значений температуры на высотах 95–100 км в широтной зоне 30–55° N для условий минимума солнечной активности.

В настоящей работе представлены сезонные вариации температуры эмиссионного слоя 557.7 нм для различных долгот в области средних широт. Сделано сопоставление полученного долготного распределения температуры с данными ее интерферометрических и лидарных измерений, проводившихся на различных станциях, а также с результатами спутниковых исследований. Получены также зависимости амплитуд сезонных вариаций температуры от широты для долготы 60° E.

Работа была выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-05-00062-а.

1. Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. *Излучение верхней атмосферы – индикатор ее структуры и динамики*. М.: ГЕОС, 2006, 741 с.

Исследование особенностей проявления зимних внезапных стратосферных потеплений над регионами Сибири и Дальнего Востока России по данным лидарных и спутниковых измерений температуры в период 2008–2011 гг.

Черниговская М.А.¹ (cher@iszf.irk.ru), Куркин В.И.¹, Маричев В.Н.² (marichev@iao.ru),
Николашкин С.В.³ (nikolashkin@ikfia.ysn.ru), Бычков В.В.⁴ (vasily.bychkov@gmail.com)

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

³Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31, 677891 Якутск, Россия

⁴Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, ул. Мирная д. 7, 684034 п. Паратунка, Камчатский край, Елизовский район, Россия

Investigation of features of manifestation of winter sudden stratospheric warmings over the regions of Siberia and the Far East of Russia according to lidar and satellite measurements of temperatures in the period 2008–2011

Chernigovskaya M.A.¹, Kurkin V.I.¹, Marichev V.N.², Nikolashkin S.V.³, Bychkov V.V.⁴

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics (ISTP), Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

²V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Academician Zuev sq. 1, Tomsk 634055, Russia

³Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia

⁴Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Paratunka, Kamchatka

В работе выполнено комплексное исследование возмущений температурного режима средней атмосферы Земли, связанных с событиями внезапных стратосферных потеплений, наблюдавшихся в зимние периоды 2008–2011 гг. над регионами Западной, Восточной Сибири и Дальнего Востока России, на основе данных дистанционных методов измерения температуры: лидарного и спутникового.

Для анализа используются данные о вертикальном распределении температуры в стратосфере, полученные с помощью лидарных измерений над регионами г. Томска (56° с.ш., 85° в.д.), г. Якутска (61° с.ш., 130° в.д.) и с. Паратунка, Камчатской области (53° с.ш., 158° в.д.). Для комплексного анализа пространственно-временного распределения температуры средней атмосферы совместно с данными лидарных измерений используются спутниковые данные по температуре, полученные СВЧ зондом MLS (Microwave Limb Sounder), установленным на борту космического аппарата EOS Aura. Рассматриваются региональные особенности проявления внезапных стратосферных потеплений над азиатским регионом России в долготном секторе ~ 85–160° в.д. в период зим 2008–2011 гг.

Установлено, что каждую зиму в анализируемый период над исследуемыми регионами азиатской части России по данным лидарных и спутниковых измерений температуры отмечались стратосферные потепления. Данные лидарных и спутниковых измерений температуры подтвердили ряд ранее известных особенностей развития зимних

стратосферных потеплений. В целом, отмечено удовлетворительное согласие данных измерений высотного распределения температуры стратосферы лидарным и спутниковым методами. Обсуждаются возможные причины наблюдаемых расхождений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 15.

Численное моделирование эволюции озонового слоя земли в XXI столетии

Деминов И.Г. (dyominov@phys.nsu.ru), Задорожный А.М.

Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 2, 630090 Новосибирск, Россия

Numerical modeling of the Earth's ozone layer evolution in the 21st century

Dyominov I.G., Zadorozhny A.M.

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Численная двумерная зонально-усредненная интерактивная динамическая радиационно-фотохимическая модель тропосферы и стратосферы, включающая аэрозольную физику, используется для исследования будущих долговременных изменений озонового слоя Земли, вызванных выбросами в атмосферу антропогенных загрязнений, содержащих парниковые газы CO₂, CH₄, N₂O, хлор- и бромсодержащие соединения и водяной пар. Расчеты эволюции озонового слоя Земли выполнены для двух сценариев изменений содержания парниковых газов A2 и IS92a, отражающих соответственно максимальный и средний рост содержания CO₂, CH₄ и N₂O среди других сценариев, представленных в [IPCC, 2001]. Сценарии антропогенных выбросов в атмосферу озоноразрушающих C1Y и BrY, учитывающие сокращение их содержания в XXI веке, взяты из [WMO, 2007]. В расчетах учитывается увеличение водяного пара в атмосфере, вызванное эмиссией H₂O из двигателей дозвуковых и сверхзвуковых самолетов и испарением влаги с поверхности океана вследствие увеличения температуры поверхностного слоя океана, обусловленного парниковым эффектом.

Модельные расчеты показывают, что к середине XXI века изменения озонового слоя, вызванные парниковыми газами, становятся соизмеримыми по абсолютной величине с изменениями, обусловленными воздействием на атмосферу антропогенных хлорных и бромных соединений. Обусловлено это тем, что охлаждение стратосферы, вызываемое парниковыми газами, приводит к увеличению содержания озона в средней и верхней стратосфере вследствие ослабления эффективности всех каталитических циклов разрушения озона из-за температурной зависимости скоростей фотохимических газофазных реакций. Вследствие этого после сокращения антропогенных выбросов в атмосферу хлор- и бромсодержащих соединений антропогенный рост содержания парниковых газов, особенно CO₂, приводит к значительному восстановлению глобального содержания озона. Показано, что глобальное содержание озона в области широт от 90°S до 90°N достигнет своего невозмущенного уровня 1980 г. примерно к 2043 г. при росте содержания парниковых газов согласно сценарию IS92a и к 2047 г. – согласно сценарию A2. Относительные изменения среднего за год глобального содержания озона в 2100 г. по сравнению с 1980 г. для сценариев IS92a и A2 увеличатся соответственно на ~ 1.7 % и ~ 4.3 %.

Учет увеличения водяного пара в атмосфере, как показывают расчеты по сценарию A2, ослабляет воздействие парниковых газов на глобальное содержание озона на ~ 15–20 % и замедляет достижение его невозмущенного уровня 1980 г. примерно на 2 года. Обусловлено это тем, что в области средней и верхней стратосферы химическое воздействие H₂O на озон более эффективно, чем радиационное, что приводит к усилению каталитических циклов разрушения озона.

Прогноз изменений содержания озона в области полярных широт показывает, что при росте содержания парниковых газов в атмосфере согласно сценарию A2 среднее за год

глобальное содержание озона в области широт от 60°N до 90°N в марте месяце достигнет своего невозмущенного уровня 1980 г. примерно к 2057 г., а в области широт от 60°S до 90°S в октябре – примерно к 2068 г. Относительные изменения среднего за год глобального содержания озона в 2100 г. по сравнению с 1980 г. увеличатся на ~ 6.1 % в области широт от 60°N до 90°N в марте месяце и на ~ 1.6 % в области широт от 60°S до 90°S в октябре месяце. Учет увеличения водяного пара в нижней стратосфере и тропосфере существенно усиливают механизм воздействия на глобальный озон через модификацию полярных стратосферных облаков, вследствие чего достижение его невозмущенного уровня 1980 г. в областях широт от 60°N до 90°N и от 60°S до 90°S замедляется соответственно на 5 лет и 2 года.

Озон и циркуляционные системы Северного полушария

Шаламянский А.М. (ozon@peterlink.ru)

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 188685 пос. Воейково, Всеволожский р-н
Ленинградской области, Россия*

Предложена версия физического обоснования хорошо известного факта – тесной связи поля озона с синоптическими образованиями верхней тропосферы. В работах, выполненных в ГГО еще в 1970–80-е годы, было установлено, что особенности поля ОСО связаны с расположением основных тропосферных воздушных масс (ВМ) Северного полушария, при этом наибольшие значения ОСО наблюдаются в арктической, наименьшие – в тропической, промежуточные – в умеренной ВМ.

В 1998–2010 гг. исследования были продолжены на основе анализа ежедневных комплексных карт поля геопотенциала уровней 300 и 200 гПа и полей ОСО, представленных данными спутниковых измерений и данными станций Росгидромета. Комплексный анализ показал, что границы областей с высоким и низким содержанием озона всегда совпадают и по расположению и по времени с полярными и субтропическими высотными фронтальными зонами. В зимнее полугодие в нижней стратосфере умеренных и полярных широт согласно комплексным картам полей ОСО и температуры на уровне 30 гПа области низкого и высокого содержания озона совпадают с расположением холодного циркумполярного вихря и теплого высотного тихоокеанского антициклона. К сожалению, не существует физического обоснования не только сложной связи «озон -верхняя тропосфера», но даже таким характерным особенностям ОСО, как сезонный и широтный ход. Принято объяснять особенности распределения озона с помощью гипотезы, согласно которой богатый озоном воздух верхней экваториальной стратосферы переносится в высокие широты, где опускается, обеспечивая здесь высокие значения ОСО. Далее озон рассматривается как пассивная примесь в циркуляционных процессах.

В работе показано, что эта гипотеза явно противоречит реальным процессам в атмосфере. Объяснение особенностям атмосферного озона дает анализ вертикальных профилей озона, разделенных по типам ВМ. Основные различия в толщине слоя озона между ВМ наблюдаются в нижней стратосфере. Содержание озона в нижней стратосфере определяется притоком из верхней стратосферы и разрушением за счет подъема озоноразрушающих примесей из тропосферы. В массе теплого воздуха примеси поднимаются на большую высоту, уменьшая концентрацию озона до весьма низкого уровня. В холодной тропосфере примеси не могут подняться до большой высоты, позволяя озону накапливаться в нижних слоях стратосферы. Степень влияния тропосферных примесей исчерпывающе объясняет сезонный и широтный ход ОСО, наличие высокого содержания озона над холодными тропосферными массами, низкого – над теплыми. Распределение озона определяет термический режим нижней стратосферы от тропопаузы до уровня 25 км. Над холодной тропосферной массой располагается нагретый озоном теплый стратосферный воздух, над теплой тропосферой – холодный. На границе ВМ на уровне термического равновесия возникает зона больших градиентов давления и, соответственно, струйных

течений там, где градиенты максимальны. Взаимодействие в атмосфере полушария трех основных ВМ, отличающихся по распределению температуры и озона, приводит к образованию циркуляционной системы из двух высотных фронтальных зон на совершенно определенной высоте и в определенном диапазоне широт. Если состояние озонного слоя зависит от свойств ВМ в тропосфере, то расположение границ ВМ зависит от стратосферы, т.е. от состояния поля озона. Насколько заметно влияние озона на циркуляционные процессы показывает тот факт, что в период весенних максимумов ОСО все фронтальные зоны максимально смещаются на юг, а в период осенних минимумов озона – на север.

Отклик мезосферного озона на воздействие мощного КВ радиоизлучения

Куликов Ю.Ю.¹ (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Комраков Г.П.², Красильников А.А.¹,
Кузнецов А.А.¹, Фролов В.Л.²

¹*Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова 46, 603950 Н. Новгород, Россия*

²*Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия*

Наряду с изучением воздействия естественных факторов на состояние атмосферы в последнее время развиваются методы исследования, основывающиеся на антропогенном воздействии на атмосферу мощного КВ радиоизлучения, которое генерируется специально созданными нагревными стендами. Это позволяет производить измерения при контроле параметров создаваемого возмущения с возможностью повторения эксперимента в дальнейшем.

В данной работе представлены результаты экспериментов по модификации нижней ионосферы, которые проводились 27–28 марта 2011 года на нагревном стенде «Сура» (ФГНУ НИРФИ), расположенном около п. Васильсурск в Нижегородской области. Целью проводимого эксперимента являлось определение меры влияния мощного радиоизлучения на содержание мезосферного озона. В марте 2009 г. проводились аналогичные измерения, в которых был зарегистрирован отклик мезосферного озона на нагрев нижней ионосферы мощным КВ радиоизлучением [1].

Эксперимент был поставлен следующим образом. Стенд «Сура» излучал под углом 12° от зенита на юг мощную радиоволну на частоте 4.3 МГц. Приём теплового излучения средней атмосферы на частоте 110836.04 МГц осуществлялся при помощи двух идентичных мобильных микроволновых озонметров [2]. Параметры приборов позволяют получать информацию с временным разрешением 15 минут о вертикальном распределении озона на высотах от 22 до 60 км. Измерения спектров теплового излучения атмосферы выполнялись методом калибровки по двум «чернотельным» эталонам, которые находились при температуре кипения жидкого азота и температуре окружающего воздуха. Один из озонметров был ориентирован по направлению излучения стенда «Сура». Антенна второго озонметра была направлена под зенитным углом 70° на юг. Нагрев нижней ионосферы проводился 27 марта с 12:02 до 14:32 московского времени (мск) и 28 марта с 12:00 до 15:30 мск в режиме: 30 мин. – излучение, 30 мин. – пауза. Выбор режима работы стенда обусловлен разрешающими способностями микроволнового озонметра – за время нагрева или паузы можно было получить по два спектра атмосферной линии озона (точность каждой точки спектра ~ 2 %). 27 марта работали два генератора стенда из трёх, измерения производились при мощности волны накачки 40 МВт. Было измерено уменьшение интенсивности теплового излучения атмосферы в линии озона в среднем на 12 % озонметром, антенна которого была ориентирована под зенитным углом 70°. Прибор, принимающий излучение из модифицированной области (антенна ориентирована под зенитным углом 12 градусов), измерил уменьшение интенсивности излучения на 2 %. 28 марта на нагрев работали все три генератора стенда, при этом была реализована мощность

80 МВт. Измерения теплового излучения атмосферы в этот день осуществлялись при помощи одного озонметра, направленного в модифицированную область атмосферы, так как другой прибор вышел из строя. При максимальной излучаемой мощности наблюдалось уменьшение интенсивности линии озона в среднем на 7 %.

По полученным в ходе измерений данным была проведена оценка распределения концентрации озона по высоте. Расчёт показал, что нагрев нижней ионосферы приводит к уменьшению содержания мезосферного озона на высотах ~ 60 км в среднем на 20 %. С окончанием искусственного воздействия содержание озона восстанавливается. Проведенные эксперименты по воздействию на ионосферу мощными радиоволнами позволили, по-видимому, подтвердить физическую модель эффективного силового источника для возбуждения внутренних гравитационных волн [3] и влияние его на вариации мезосферного озона.

1. Kulikov Yu.Yu., V.L. Frolov. Influence of HF powerful radio waves on the ozone number density in the Earth's atmosphere. *The Seventh International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves (MSMW'10) Proceedings*, Kharkov, Ukraine, June 21 – 26, 2010. doi:10.1109/MSMW.2010.5545979
2. Красильников А.А., Ю.Ю. Куликов, В.Г. Рыскин и др. Новый малогабаритный микроволновый спектрометрический озонметр. *Приборы и техника эксперимента*, 2011, 1, 127–133.
3. Григорьев Г.И., В.Ю. Трахтенгерц. Излучение внутренних гравитационных волн при работе мощных нагревательных стенов в режиме временной модуляции ионосферных токов. *Геомагнетизм и аэронавтика*, 1999, 39, 6, 90–94.

Одновременные микроволновые наблюдения вариаций озона средней атмосферы в Нижнем Новгороде и Петергофе во время частного солнечного затмения 4 января 2011 года

Куликов Ю.Ю.¹ (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Красильников А.А.¹, Кузнецов А.А.¹,
Рыскин В.Г.¹, Поберовский А.В.²

¹Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова 46, 603950 Н. Новгород, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Мониторинг содержания озона в средней атмосфере при помощи наземного дистанционного микроволнового зондирования позволяет следить за изменениями озона средней атмосферы, выявлять зависимости этих изменений от влияния различных факторов. Наземное дистанционное зондирование имеет ряд преимуществ по сравнению с баллонными, ракетными и спутниковыми методами. Это – возможность проведения долговременных непрерывных измерений независимо от сезона и времени суток, дешевизна и экологическая безвредность наземных приборов по сравнению с аппаратурой, устанавливаемой на носителях. По предельным высотам мониторинг на миллиметровых волнах превосходит озонозонды (потолок около 30 км), оптические спектрометры и лидары (предельные высоты около 40 км). Большой интерес представляет изучение влияния солнечного переменного излучения на состояние средней атмосферы и, в частности, на содержание озона на высотах от 20 до 100 км. Для этого были выполнены микроволновые наблюдения озона во время частного солнечного затмения 4 января 2011 года в Нижнем Новгороде (56° N, 44° E) и Петергофе (60° N, 30° E).

Измерения проводились с помощью двух идентичных портативных микроволновых озонметров. Прибор состоит из гетеродинного приемника миллиметрового диапазона длин волн и многоканального анализатора спектра. Характеристики прибора: рабочая частота приемника 110.8 ГГц; однополосная шумовая температура приемника около 2500 К. Спектрометр состоит из 32 фильтров с полосой пропускания от 1 до 10 МГц и полной полосой анализа 240 МГц. Параметры прибора позволяют получать информацию с временным разрешением 15 минут о вертикальном распределении озона на высотах от 22 до 60 км. Для измерений спектров теплового излучения применялся метод калибровки по двум

«чернотельным» эталонам, которые находились при температуре кипения жидкого азота и температуре окружающего воздуха. Восстановление высотного профиля концентрации озона по измеренным спектрам было реализовано с помощью пакета графического программирования LabVIEW.

Вариации содержания озона средней атмосферы во время затмения неоднократно исследовались как при помощи микроволновых измерений [1], так и помощью традиционных оптических и инфракрасных измерений, но, тем не менее, отсутствует единая точка зрения на некоторые явления, которые при этом наблюдаются. Остаются неясными причины существенных быстрых вариаций общего содержания озона во время затмений, наблюдаемых в Индии 24 марта 1995 года [2], в Болгарии 11 августа 1999 года [3]. Трудно объяснить наблюдаемые вариации в нижней и средней стратосфере фотохимической теорией из-за большого времени жизни молекул озона на данных высотах. Есть несколько гипотез, объясняющих наблюдаемые явления. Одна из таких гипотез – это влияние динамических процессов, воздействующих на атмосферную циркуляцию, которые проявляются из-за возникающего температурного градиента во время затмения.

Затмение в Нижнем Новгороде началось в 10:47 московского времени, наибольшая фаза пришлась на 12:13, конец затмения – на 13:37. Максимальная фаза составляла 0.789. Высота Солнца над горизонтом во время максимальной фазы затмения составляла примерно 11°. В Петергофе затмение началось в 10:34, наибольшая фаза пришлась на 11:56, конец затмения – на 13:20. Максимальная фаза составляла 0.846. Высота Солнца над горизонтом во время максимальной фазы затмения составляла примерно 6°. Данные обработки микроволновых спектров (вертикальные профили концентрации озона на избранных высотах 25, 40 и 60 км) были сопоставлены с бортовым прибором MLS/AURA. Во время затмения зарегистрировано увеличение концентрации мезосферного озона. На высоте 60 км она возросла на 31 % в Нижнем Новгороде, а в Петергофе на 13 %. Изменения содержания мезосферного озона (60 км) во время частного затмения по величине меньше его суточных вариаций (во время захода и восхода Солнца).

1. Куликов Ю.Ю., А.А. Красильников, В.М. Дёмкин, В.Г. Рыскин. Вариации концентрации мезосферного озона во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года по данным микроволновой радиометрии. *Изв. РАН, ФАО*, 2008, **44**, 4, 522–526.
2. Chakrabarty D.K., N.C. Shah, K.V. Pandya. Fluctuation in ozone column over Ahmedabad during the solar eclipse of 24 October 1995. *Geophys. Res. Lett.*, 1997, **24**, 23, 3001–3003.
3. Гогошева Ц.Н., Б.Х. Петков, Д.Г. Крыстев. Измерение ультрафиолетового излучения и озона во время солнечного затмения 11 августа 1999 г. *Геомагнетизм и аэрономия*, 2002, **42**, 274–278.

Влияние полярного стратосферного вихря на озон по наблюдениям на миллиметровых волнах

Розанов С.Б. (sergroz@sci.lebedev.ru), Кропоткина Е.П., Игнатьев А.Н., Лукин А.Н., Соломонов С.В.

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

Influence of the stratospheric polar vortex on ozone from results of millimeter-wave observations

Rozanov S.B., Kropotkina E.P., Ignatyev A.N., Lukin A.N., Solomonov S.V.

P.N. Lebedev Physical Institute RAS (LPI), Leninsky av. 53, 119991 Moscow, Russia

Озон играет ключевую роль в атмосфере в физических, химических процессах, в формировании климата. Рассмотрены результаты мониторинга вертикального распределения озона (ВРО) над Москвой на миллиметровых волнах в холодные полугодия.

Наблюдения осуществлялись с помощью усовершенствованного озонметра ФИАН [1]. Отмечено хорошее соответствие профилей ВРО, измеренных в ФИАН, с данными одновременных наблюдений озона над Москвой из космоса. Например, различие

усреднённых за март 2005 г. профилей ВРО, зарегистрированных в ФИАН и с помощью прибора MLS [2] над Москвой, не превосходило 7 % на высотах 21–51 км. Различие усредненных профилей ВРО, полученных в апреле 1996–2003 гг. по наблюдениям в ФИАН и из космоса с помощью ультрафиолетовых инструментов SBUV [3], составило менее 6 % на высотах 20–45 км.

Анализ результатов наблюдений показал, что воздух, принадлежащий полярному вихрю, неоднократно появлялся над Москвой в холодные полугодия в период наблюдений с 1987 г. по настоящее время. Характерной особенностью профилей ВРО в воздухе вихря является не только пониженное содержание озона (по сравнению со среднемесячными данными), но также и слабая зависимость отношения смеси озона C_{oz} от высоты в воздухе вихря. Этим свойством такие профили ВРО значительно отличаются от обычных профилей ВРО вне вихря, которые имеют ярко выраженный максимум в слое 35–40 км и существенно более высокие значения содержания озона. Показано, что пониженное содержание озона внутри вихря может сохраняться продолжительное время в течение зимы в силу известной относительной изолированности воздуха внутри вихря.

В холодные полугодия чередование воздушных масс полярного вихря и воздуха из более низких широт над Москвой, вызванное динамикой атмосферы, сопровождается значительными изменениями содержания озона C_{oz} . В результате на высотно-временном распределении содержания озона C_{oz} возникает контрастная картина, отражающая неоднородность пространственного распределения озона. Например, в холодное полугодие 2009–2010 гг. воздух полярного вихря неоднократно появлялся в стратосфере над Москвой в ноябре–январе, что приводило к пониженному до 5 ppmt содержанию озона на высотах средней стратосферы. Значительное увеличение озона до 9.2 ppmt на 30 км произошло в начале февраля 2010 г. Оно было обусловлено стратосферным потеплением, во время которого возникло разделение вихря на две части и образование двух стратосферных антициклонов. Указанное увеличение озона над Москвой вызвано появлением воздуха антициклона с повышенным содержанием озона.

Полученные результаты важны для прогнозирования процессов в озоносфере, они показывают высокую эффективность дистанционного зондирования атмосферного озона радиофизическими методами.

Работа поддержана Программами ОФН РАН «Проблемы радиофизики» и «Радиоэлектронные методы в исследовании природной среды и человека».

1. Соломонов С.В., А.Н. Игнатьев, Е.П. Кропоткина и др. Спектральная аппаратура для мониторинга атмосферного озона на миллиметровых волнах. *Приборы и техника эксперимента*, 2009, 2, 138–144.
2. Froidevaux L., N.J.Livesey, W.G.Read, et al. Early validation analyses of atmospheric profiles from EOS MLS on the Aura satellite. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 2006. **44**, 5, 1106–1121.
3. SBUV Version 8, Nimbus 7, NOAA-9a, NOAA-9b, NOAA-11, NOAA-16. DVD-ROM April 2004. Prepared by the NOAA/NASA Ozone Processing Team.

Исследование областей с пониженным содержанием озона в верхней стратосфере методами миллиметровых волн

Кропоткина Е.П., Игнатьев А.Н., Лукин А.Н., Розанов С.Б.,
Соломонов С.В. (solomon@sci.lebedev.ru)

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

Investigation of ozone depleted regions in the upper stratosphere by millimeter-wave techniques

Kropotkina E.P., Ignatyev A.N., Lukin A.N., Rozanov S.B., Solomonov S.V.
P.N.Lebedev Physical Institute RAS (LPI), Leninsky av. 53, 119991 Moscow, Russia

Актуальность исследований вертикального распределения озона и его изменений методами миллиметровых (ММ) волн определяется ключевой ролью этой газовой составляющей в атмосферных процессах. Особый интерес представляет наблюдения озона в

верхней стратосфере, где на содержание озона влияют фотохимические процессы и атмосферная динамика, а долговременные изменения озона обусловлены техногенным влиянием соединений хлора. Представлены полученные на ММ волнах результаты наблюдений озона в верхней стратосфере над Москвой в холодные периоды 1996–2010 гг. Измерения выполнялись с помощью спектральной аппаратуры и методов, описанных в [1]. Зарегистрированы значительные вариации содержания озона в холодные полугодия примерно от 4 до 7 ppm вблизи 40 км. Пониженные значения озона возникают в двух случаях. Они наблюдаются в воздухе полярного вихря, характеризующегося повышенными значениями потенциальной завихренности и пониженными значениями температуры. Например, минимальные значения отношения смеси озона в воздухе полярного вихря, появившегося над Москвой в период с 24 по 26 декабря 2008 г., составляли 4.4 ppm (4.3 ppm) на уровне 2 мбар. Здесь и ниже в скобках указаны данные одновременных наблюдений EOS MLS Aura [2]. Минимальные значения температуры в этот период составляли 219 К, а значения потенциальной завихренности достигали 11180 единиц PV на уровне потенциальной температуры $\Theta = 1500$ К.

Вместе с тем был обнаружен другой класс явлений, характеризующихся возникновением в областях верхней стратосферы вне полярного вихря относительно кратковременного (до 15 суток) понижения содержания озона. Такие области стратосферы с пониженным содержанием озона характеризуются относительно низкими значениями потенциальной завихренности PV и повышенными значениями температуры. Эти явления наблюдались в холодное полугодие, обычно в период с декабря по февраль в струйных течениях при активизации волновых процессов и при стратосферных потеплениях. Для этих явлений характерна антикорреляция содержания озона и температуры. Например, во время среднезимнего мажорного стратосферного потепления в январе 2009 г. при появлении тёплых воздушных масс в верхней стратосфере над Москвой 29 января 2009 г. содержание озона понизилось до 4.0 ppm (3.8 ppm). Температура в этот период возросла до 285 К, а потенциальная завихренность понизилась до 3400 единиц PV (на уровне потенциальной температуры $\Theta = 1500$ К).

Наблюдаемые эффекты снижения содержания озона в верхней стратосфере при повышении температуры могут быть объяснены возрастающей ролью разрушения озона в химических реакциях. Поскольку области повышенной температуры на картах верхней стратосферы Северного полушария могут занимать огромные пространства, то обнаруженные явления значительного понижения озона в этих областях необходимо учитывать при моделировании процессов эволюции озоносферы.

Работа поддержана Программами ОФН РАН «Современные проблемы радиофизики» и «Радиоэлектронные методы в исследовании природной среды и человека».

1. Соломонов С.В., А.Н. Игнатьев, Е.П. Кропоткина и др. Спектральная аппаратура для мониторинга атмосферного озона на миллиметровых волнах. *Приборы и техника эксперимента*, 2009, 2, 138–144.
2. Froidevaux L., N.J.Livesey, W.G.Read, et al. Early validation analyses of atmospheric profiles from EOS MLS on the Aura satellite. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 2006, 44, 5, 1106–1121.

Исследования излучения инфракрасной атмосферной системы молекулярного кислорода верхней атмосферы Земли

Шефов Н.Н. (nikoshefov@yandex.ru), Липатов К.В.

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

Фотометрические исследования излучения ИКАО₂ (0-0) 1.27 мкм проводились с 1957 до начала 2000-х годов в основном в дневное время (зенитные углы Солнца 10–97°) в Канаде, США, Японии, Бразилии. Для этого применялись высотные самолеты, шары-зонды, ракеты и спутники. В ночное время измерения отсутствовали.

С 2009 г. начались регулярные спектрофотометрические измерения эмиссии ИКАО₂ (0-1) 1.58 мкм в Звенигороде в сумеречное и ночное время (зенитные углы Солнца

90°–150°–90°). Впервые были осуществлены измерения температуры эмиссии ИКАО₂ и связаны с высотными распределениями температуры по спутниковым данным. Все накопленные данные были использованы для построения статистически достоверных эмпирических моделей, описывающих зависимости вариаций интенсивности, температуры и высотного распределения объемной интенсивности эмиссии 1.58 мкм от зенитного угла Солнца и получения их аналитических представлений для условий суточных, сезонных, широтных изменений, а также в зависимости от уровня солнечной активности. Только такие систематизированные сведения могут быть использованы для построения теоретических моделей содержания озона в средней атмосфере на высотах 30–100 км.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-05-00062.

Studies of infrared atmospheric system emission of molecular oxygen of the terrestrial upper atmosphere

Shefov N.N. (nikoshefov@yandex.ru), Lipatov K.V.

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Science, Moscow

Photometric studies of IRAO₂ emission of (0-0) 1.27 μm were carried out with 1957 prior to the beginning of 2000th years basically in the daytime (solar zenith angles $\chi = 10\text{--}97^\circ$) in Canada, the USA, Japan, Brazil. High-altitude aircrafts, balloons, rockets and satellites were used for this purpose. The obtained incidental data repeatedly were used for the theoretical analysis of the ozone photolysis processes, as bases of IRAO₂ emission excitation. Nightglow measurements were absent.

The regular spectrophotometric measurements of the IRAO₂ emission of (0-1) 1.58 μm have begun from 2009 in Zvenigorod during twilight and night time ($90^\circ \leq \chi \leq 150^\circ \geq \chi \geq 90^\circ$). For the first time measurements of the temperature of the IRAO₂ emission have been carried out and connected to altitudinal distributions of temperature on the satellite data. All obtained and published data have been used for construction of statistically authentic empirical models. They describe dependences of variations of intensity, temperatures and altitudinal distribution of the volume emission rate of 1.58 μm from the solar zenith angles. Empirical analytical formulas for conditions of the nightglow, seasonal, latitudinal variations, and also from a level of solar activity are obtained. Only such systematized data can be used for construction of theoretical models of the ozone concentration in the middle and upper atmosphere at heights of 30–100 km.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no. 10-05-00062).

Предварительные результаты сравнения измерений вращательной температуры ОН(6,2) двумя спектрографами с различными аппаратными функциями

Колтовской И.И. (Koltigor@mail.ru), Аммосов П.П., Гаврильева Г.А.

Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31, 677891 Якутск, Россия

Preliminary results of a comparison of OH (6,2) the rotational temperature measurements by two spectrographs with different transfer functions

Koltovskoi I.I., Ammosov P.P., Gavrilieva G.A.

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Lenin ave. 31, 677891 Yakutsk, Russia

В докладе представлены сравнения вращательных температур полосы ОН(6,2) на высоте 87 км, измеренные двумя наземными спектрографами, установленными на оптической станции Маймага (63° N, 129.5° E). В ранних работах были проведены сравнения наземных и спутниковых измерений температуры. Наземный прибор представляет собой

инфракрасный цифровой спектрограф (ИЦС), состоящий из дифракционного спектрографа СП-50 и цифровой ПЗС камеры. ИЦС регистрирует свечение ночного неба под зенитным углом 49° . ПЗС камера охлаждается до -50°C . Угол зрения спектрографа равен 9° . Раскрытие входной щели равно 0.6 мм, что соответствует аппаратной функции 0.8 нм. Метод оценки вращательной температуры молекулярных эмиссий основан на подгонке модельных спектров, построенных с учетом аппаратной функции прибора для различных заранее заданных температур, к реально измеренному спектру методом наименьших квадратов. Было показано, что в зимние месяцы вращательные температуры молекулы гидроксила, измеренные ИЦС систематически ниже в среднем на 7 К (со стандартным отклонением 11.4 К) средней кинетической температуры на высоте слоя гидроксила, измеренной радиометром SABER с борта американского спутника TIMED. В весенний период эта разница заметно уменьшается. Кинетическая температура, измеряемая радиометром SABER, была неоднократно проверена различными наземными оптическими приборами.

Целью данной работы является выяснение причины систематической ошибки в измерениях вращательной температуры ИЦС. Был установлен второй спектрограф на базе МДР-2 с углом зрения 20° , регистрирующий сигнал ночного неба под тем же зенитным углом и в том же направлении что и ИЦС, но с меньшим раскрытием входной щели 0.2 мм. Детектирующая часть аппаратуры и методика определения вращательной температуры идентичны. Разница углов зрения при отсутствии больших волновых возмущений не должна влиять на разницу температур, регистрируемых двумя спектрографами. Для анализа использовались данные наблюдений за 14 дней в январе и 5 дней в марте 2011 г.

Показано, что в январе вращательные температуры молекулы гидроксила, измеренные ИЦС, систематически ниже в среднем на 6 К, а в марте разность уменьшается до нуля. Оптический полигон Маймага расположен в долине реки Лена, где в зимний период почти постоянно стелется слабая дымка, что может быть дополнительным источником паразитного рассеянного света. У спектрографа СП-50 входная щель шире, поэтому при наличии рассеянного света в измеряемый спектр соответственно попадает больше рассеянного света. Возможно последнее и является причиной появления систематической ошибки в измерениях вращательной температуры молекулы гидроксила ИЦС.

Слоистые структуры в верхней атмосфере и нижней ионосфере Венеры

Гаврик А.Л. (alg248@ire216.msk.su), Гаврик Ю.А., Копнина Т.Ф.

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. ак. Б.А. Введенского д. 1,
141190 Московская обл., г. Фрязино, Россия*

К настоящему времени в 9 космических миссиях проведено ~ 800 радиопросвечиваний ионосферы Венеры, из них 20 % выполнены спутниками ВЕНЕРА-15,-16. Традиционное использование вариаций фазы радиосигнала для определения высотных профилей концентрации электронов по радиозатменным данным приводило к систематической погрешности, обусловленной случайными вариациями интегральной электронной концентрации на радиолуче в межпланетной плазме, горизонтальными градиентами концентрации электронов в исследуемой ионосфере и ошибками интегрирования, что затрудняло выявление слоистых структур в ионосфере Венеры.

В данной работе на основе высокочувствительной технологии радиовидения слоистых структур показаны возможности изучения тонкой структуры ионосферы и детектирования слоев с малой концентрацией плазмы в экспериментах радиопросвечивания ионосферы когерентными сигналами спутников ВЕНЕРА-15,-16. Представлены сведения о структуре ионосферы вблизи нижней границы на высотах 80–120 км над поверхностью планеты, где концентрация электронов становится очень малой.

Установлено существование под областью главного максимума ионизации дневной ионосферы регулярно присутствующих, но изменчивых слоев ионизации. Обнаружены признаки волновых процессов, в которых периодические колебания плотности наблюдались с высоты 65 км в атмосфере Венеры и продолжались в нижней ионосфере до высоты 120 км. В ночной ионосфере аналогичные процессы не зарегистрированы. Имитационное моделирование показало, что в обнаруженной ионизованной области ниже 120 км невозможно получить достоверный профиль концентрации электронов с использованием общепринятой методики интерпретации данных радиопросвечивания. Результаты расчетов могут показывать как большую по величине положительную, так и отрицательную концентрацию, а ошибки определения концентрации электронов могут быть на порядок больше истинного ее значения, которое может изменяться в пределах от 10^3 до 10^4 см⁻³.

Работа выполнена при частичной поддержке программы ОФН РАН № VI.15 "Плазменные процессы в Солнечной системе" и гранта РФФИ 10-02-01015-а.

Вертикальное распределение оксидов серы над облаками Венеры по данным затменного эксперимента SPICAV/SOIR миссии «Венера Экспресс»

Беляев Д.А.¹ (dbelyaev@iki.rssi.ru), Кораблев О.И.¹, Федорова А.А.¹, Montmessin F.², Bertaux J.-L.²

¹Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

²LATMOS CNRS, 11 Boulevard d'Alembert, 78280 Guyancourt, France

Оксиды серы (SO и SO₂) являются ключевыми компонентами атмосферы Венеры, полностью покрытой облаками из капель серной кислоты (H₂SO₄). Изменения содержания этих газов в надоблачном слое могут служить индикатором фотохимической активности в атмосфере, а также геологической активности: единичный вулканический всплеск на поверхности нарушает атмосферную циркуляцию и увеличивает доставку сернистых окисей (SO_x) к облакам (высоты 50–70 км). Новые измерения SO и SO₂ в мезосфере Венеры были проведены прибором SPICAV/SOIR с борта орбитального аппарата «Венера Экспресс». Прибор – система из трех спектрометров – зондирует атмосферу над облаками в различных режимах (надир, солнечное и звездное просвечивание) как в УФ, так и в ИК области спектра.

В данной работе представлены результаты солнечного просвечивания (затменного эксперимента) в полосах поглощения SO₂ (190–320 нм, 4 мкм) и SO (190–320 нм). Содержание двуокиси (SO₂) было померено спектрометром SOIR на высотах 65–80 км в ИК диапазоне и спектрометром SPICAV на 85–105 км в УФ области. Поглощение SO детектировано только прибором SPICAV на высотах 85–105 км. Таким образом, впервые в вертикальном распределении газов над облаками Венеры зафиксировано наличие двух слоев SO₂. В нижнем слое (65–80 км) относительное содержание двуокиси меняется в пределах 0.02–0.5 ppm. Для верхнего слоя (85–105 км) характерно увеличение содержания газа с высотой от 0.05 до 2 ppm, причем отношение концентраций [SO₂]/[SO] варьируется от 1 до 5. Похожие результаты были получены из наземных микроволновых наблюдений [1].

Значительное поглощение SO_x на больших высотах может быть объяснено фотолизом H₂SO₄ при определенных температурных условиях в мезосфере Венеры. Было замечено, что на высотах 90–100 км содержание двуокиси серы коррелирует с температурой, увеличиваясь от 0.1 ppm при 165–170 K до 0.5–1 ppm при 190–192 K. Такое поведение говорит в пользу гипотезы об образовании SO₂ путем испарения капель серной кислоты и ее последующим фотолизом на 100 км.

1. Sandor B.J., Todd Clancy R., Moriarty-Schieven G., Mills F.P. Sulfur chemistry in the Venus mesosphere from SO₂ and SO microwave spectra. *Icarus*, 2010, **208**, 49–60.

Полная микрофизическая модель конденсационных облаков H_2O в атмосфере Марса

Бурлаков А.В. (burlakov.alex@gmail.com), Родин А.В.

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

Разработана одномерная микрофизическая модель конденсационных облаков H_2O в атмосфере Марса с разрешенным на сетке распределением по размерам. Суточный цикл конденсационных процессов в атмосфере получен на основе температурных профилей из трехмерной модели общей циркуляции. В приближении классической диффузии характерный размер ледяных частиц составляет 1–2 мкм в нижней части облачного слоя и 0.2–0.3 мкм на высоте 50–60 км, что соответствует данным СПИКАМ на КА "Марс-Экспресс".

Микрофизический блок из одномерной модели был внедрен в трехмерную модель общей циркуляции атмосферы Марса, которая основана на динамическом ядре GFDL's FMS. Предварительные результаты моделирования гидрологического цикла подтверждают устойчивость и гибкость численной схемы. Разработана одномерная модель с модифицированной пространственной динамикой, основанной на приближении дробной производной. Предполагается использовать данную модель для анализа экспериментальных данных.

Тестирование совместной химико-климатической модели атмосферы на предмет воспроизведения температурного тренда стратосферы за 1979–1997 годы

Галин В.Я.¹ (galin@inm.ras.ru), Смышляев С.П.² (smyshl@rshu.ru)

¹*Институт вычислительной математики РАН, Губкина 8, 119991 Москва, Россия*

²*Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия*

В работе [1] опубликованы результаты сравнения моделей атмосферы с точки зрения способности их воспроизведения реально наблюдавшегося тренда температуры стратосферы и мезосферы за 1979–1997 годы. В проекте сравнения участвовали более 10 известных совместных химико-климатических моделей атмосферы из Европы, Америки, Японии. Основное внимание в работе уделено оценке влияния на тренд температуры стратосферы и мезосферы изменений концентраций углекислого газа CO_2 и озона O_3 за указанный период. Главной особенностью тренда температуры за этот период является наличие максимального охлаждения стратосферы на высоте около 1 мб (48 км) со скоростью примерно – 2.0 градуса Кельвина за декаду, с ярко выраженным уменьшением тренда выше и ниже этого уровня.

Модельные расчеты показали, что этот тренд формируется примерно одинаковым вкладом (с небольшим превышением влияния озона) изменений CO_2 и O_3 . Как можно увидеть из этой работы, модельные расчеты хорошо согласуются с наблюдениями.

Опубликованные результаты [1] являются хорошим материалом для самостоятельного тестирования подобного рода моделей атмосферы, которые не участвовали в этом проекте. К такой модели можно отнести и химико-климатическую модель атмосферы, разрабатываемую в ИВМ РАН (г. Москва) и РГГМУ (г. С.-Петербург) [2]. В докладе будут представлены результаты расчета трендов температуры и озона по этой модели за 1979–1997 годы.

Работа выполнена в Институте вычислительной математики РАН и в Российском государственном гидрометеорологическом университете при финансовой поддержке РФФИ по грантам 09-05-00916а и 11-05-01201а.

1. Shine K.P., M.S. Bourqui, P.M. de Forster et al. A comparison of model-simulated trends in stratospheric temperatures. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 2003, **129**, 1565–1588.
2. Галин В.Я., Смышляев С.П., Володин Е.М. Совместная химико-климатическая модель атмосферы. *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, 2007, **43**, 4, 437–452.

Излучение верхней атмосферы Земли и колебания климатической системы атмосфера-океан

Михалев А.В. (mikhalev@iszf.irk.ru)

Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

Анализируются многолетние вариации излучения верхней атмосферы Земли в линии атомарного кислорода 557.7 нм и колебания системы атмосфера-океан. Для эмиссии 557.7 нм используются опубликованные в литературе данные наблюдений среднеширотных станций (18–22 солнечных циклы) и данные наблюдений в Геофизической обсерватории института солнечно-земной физики СО РАН (23-й солнечный цикл). Для системы атмосфера-океан используются индексы явления Эль-Ниньо-Южное Колебания (ЭНЮК).

Выявлено, что когда некоторые индексы ЭНЮК, например, индекс ONI (Changes to the Oceanic Niño Index), продолжительное время имеют экстремально низкие значения, отмечается депрессия интенсивности эмиссии 557.7 нм. В случаях, когда эти эпизоды приходится на годы близкие к минимуму солнечной активности (1954–1956 и 1973–1975 гг.) отмечались аномально низкие среднегодовые значения интенсивности эмиссии 557.7 нм. Для максимума солнечной активности в 2000–2002 годах в 23-м солнечном цикле и низких значений индекса ONI также отмечалась депрессия интенсивности эмиссии 557.7 нм, приводящая к нарушению прямой зависимости интенсивности эмиссии 557.7 нм от уровня солнечной активности. Учитывая, что эмиссия 557.7 нм возникает в результате цепи реакций с участием нейтральных (Е-область) и заряженных компонентов (F-область) атмосферы на высотах ее высвечивания, можно ожидать проявление особенностей и в вариациях других характеристик верхней атмосферы в указанные периоды.

Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод, что многолетние и межгодовые вариации интенсивности эмиссии 557.7 нм могут являться следствием совместного влияния солнечной активности и колебаний климатической системы атмосфера-океан. Рассматриваются возможные механизмы влияния колебаний системы атмосфера-океан на излучение верхней атмосферы Земли.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00243-а и в рамках проекта «АТМОС» Соглашения между Российской и Болгарской академиями наук в области фундаментальных космических исследований.

Airglow and variations in the atmosphere-ocean climate system

Mikhalev A.V. (mikhalev@iszf.irk.ru)

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

We analyse long-term airglow variations in the atomic oxygen 557.7 nm line and variations in the atmosphere-ocean climate system. For the 557.7 nm emission, we used observational data from mid-latitude stations (solar cycles 18–22), which can be found in the literature, and observational data from the Geophysical Observatory of the Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS (solar cycle 23). For the atmosphere-ocean system, indices of the El Niño - Southern Oscillation (ENSO) were used. It has been found that depression of the 557.7 nm emission intensity is observed at extremely low long-term values of some ENSO indices (e.g., the ONI index (Changes in the Oceanic Niño Index)). When these events occurred in the years close to the solar minimum (1954–1956 and 1973–1975), abnormally low annual average values of the 557.7 nm emission intensity were recorded. During the solar cycle 23 maximum (2000–2002) and at low ONI values, we observed depression of the 557.7 nm emission intensity that caused violation of direct dependence of the 557.7 nm emission on the level of solar activity. Taking account of the fact that the 557.7 nm emission is a result of the reaction chain involving neutral (the E region) and charged components (the F region) of the atmosphere at heights of airglow, peculiarities of variations in other characteristics of the upper atmosphere can be expected to manifest themselves at this time too.

The findings enable us to draw a preliminary conclusion that long-term and year-to-year variability in the 557.7 nm intensity may result from the combined effect of solar activity and variations in the atmosphere-ocean climate system. We also consider possible mechanisms of effect of the atmosphere-ocean system on the airglow.

The study was supported by the RFBR Grant No. 09-05-00243-a and made as part of the Project "Atmos", Agreement between the Russian and Bulgarian Academies of Sciences on Fundamental Space Research.

Analysis of the polar vortex oscillations using quasi-lagrangian diagnostics

MirRokn S.M. (mirrokni@yazduni.ac.ir), Memarian M.H.

Department of Physics, University of Yazd, Yazd, Iran

Changes in the stratospheric flow are thought to propagate downward and affect the weather and climate in the troposphere. Therefore, studies of stratospheric variability can help us reduce the uncertainty in the important aspect of climate system regarding the interaction of the stratosphere and the troposphere. As a step to resolve the uncertainty, the internal variability of the stratosphere and in particular the vacillation of the polar vortex, involved in stratospheric-tropospheric interaction, is investigated using a shallow-water (SW) model.

In the SW model examined here, the combined effects of mechanical forcing and thermal forcing are the factors that can cause the vacillation of the polar vortex. Mechanical forcing is provided by a time-independent topography mimicking tropospheric excitation of the stratosphere. Thermal forcing is provided by a linear relaxation of the mass field to a time-independent equilibrium state mimicking the radiative relaxation taking place in the stratosphere. The SW equations in the potential vorticity (PV), velocity divergence and acceleration divergence representation are solved for a range of resolutions using the "diabatic contour-advective semi-Lagrangian" algorithm and a standard pure semi-Lagrangian algorithm. Using vastly different numerical algorithms enables us to uncover the degree of numerical sensitivity of the zonal vacillations in the SW model of the stratosphere. Using a number of quasi-Lagrangian diagnostics, the robustness of the polar vortex oscillations is investigated by calculating and analyzing the quasi-Lagrangian diagnostics that are based on the PV contour distribution.

The results indicate that the vacillations are caused by out of phase variations in the mass fluxes across polar PV contours due to dissipative processes and those due to diabatic relaxation. During the vortex breakup filamentary structures are produced associated with a cascade of potential enstrophy to small scales. In contrast, during the vortex recovery there are few filamentary structures, and the mass flux is dominated by increasing flux due to the diabatic relaxation.

Лидарные наблюдения аэрозоля различного происхождения на станциях лидарной сети Сибири и Дальнего Востока

Новиков П.В.¹ (novikov-pv@yandex.ru), Черемисин А.А.², Маричев В.Н.³, Бычков В.В.⁴, Шевцов Б.М.⁴

¹*Красноярский институт железнодорожного транспорта, ул. Ладоскеховели 89, 660028 Красноярск, Россия*

²*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

³*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия*

⁴*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатка, Россия*

Lidar observations of aerosol of different origin by Siberia-Far East lidar stations network

Novikov P.V.¹, Cheremisin A.A.², Marichev V.N.³, Bychkov V.V.⁴, Shevtsov B.M.⁴

¹*Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk, 660028, Lado Ketskhoveli st., 89, phone/fax:*

²*Siberian Federal University, Krasnoyarsk*

³*V.E. Zuev Institute of Atmosphere Optics SB RAS, Tomsk*

⁴*Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Paratunka, Kamchatka*

Одна из действующих на сегодняшний день лидарных сетей в Сибири и на Дальнем Востоке включает три лидарных станции, расположенные севернее 50° с.ш.: в Томске в Институте оптики атмосферы СО РАН, в Якутске в Институте Космофизических исследований и аэронавигации им. Шафера и на Камчатке в Институте космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН. Одной из основных задач этих станций является мониторинг вертикальной структуры аэрозоля в верхней тропосфере, стратосфере и мезосфере.

Для выявления связей между наблюдаемыми аэрозольными слоями с различными источниками аэрозоля в атмосфере были привлечены ассимилированные данные UK MetOffice по скоростям ветра и температуре. Наиболее вероятное происхождение аэрозольных слоев определялось методом обратных траекторий, на основе разработанного нами программного пакета. Результаты расчетов были подтверждены расчетами по данным GDAS в пакете HYSPLIT, доступном на сайте NOAA.

По данным наблюдений в Томске, начиная с 1996 года по настоящее время, были выявлены несколько источников аэрозоля. В зимнее время зарегистрировано несколько случаев наблюдения полярных стратосферных облаков (ПСО). Согласно расчетам обратных траекторий ПСО были принесены из областей пониженной температуры над Скандинавией или регионом Северного Урала – Новой Земли. Кроме того, в зимне-весенний период наблюдается заметное аэрозольное наполнение верхней тропосферы и стратосферы, вплоть до высот 30 км. Проведен анализ параметров воздушных масс, в которых сформировался аэрозоль. Летом аэрозоль в стратосфере практически отсутствует. 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. Еще один источник аэрозоля – крупные вулканические извержения в северном полушарии. Вулканическое происхождение аэрозольных слоев над Томском подтверждалось расчетом обратных траекторий.

На Камчатке в результате лидарных наблюдений верхней стратосферы и мезосферы, начатых в 2007 году, были обнаружены аэрозольные слои на высотах 35–50 км и 60–75 км. Положение этих слоев может быть объяснено возникновением гравитофотопоретической силы, под действием которой частицы способны левитировать на этих высотах. Также над Камчаткой были зарегистрированы серебристые облака.

Авторы благодарят Британский центр обработки атмосферных данных (British Atmospheric Data Centre) и UK MetOffice, а также NOAA за предоставленные данные.

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (проект 10-05-00907а), Министерства науки и образования РФ (проект № 2.1.1/ 6996) и программы №16 Президиума РАН.

Исследование процессов самоочистки околоземного пространства от микрочастиц космического мусора

Черемисин А.А.¹ (aacheremisin@gmail.com), Васильев Ю.В.², Ничкова Н.М.²

¹Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 79, 660041 Красноярск, Россия

²Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия

Investigation of the process of microparticle debris self-cleaning in near-Earth space

Cheremisin A.A.¹ (aacheremisin@gmail.com), Vasilyev U.V.², Nichkova N.M.²

¹Siberian Federal University, Svobodny Pr. 79, 660041 Krasnoyarsk, Russia

²Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk, Russia

В настоящее время в околоземном пространстве постоянно отслеживается движение более 20000 объектов, имеющих искусственное происхождение, с размерами 10 см и более. На контролируемых орбитах также фиксируется присутствие еще более 600000 объектов с размерами до 1–10 см. Ежегодный прирост крупных искусственных объектов на околоземных орбитах достигает 600–700 единиц в год [1].

Обсуждаются различные возможности принудительной очистки околоземного пространства с использованием разного рода способов и средств. Основную опасность для космонавтики представляют относительно крупные объекты с размерами более 1 мм. Поэтому основное внимание концентрируется на изучении поведения именно этой фракции космического мусора. Опасность представляют также и частицы меньшего размера. Естественным было бы предположить, что нарастание количества микрочастиц в околоземном пространстве с размерами менее 1 мм должно происходить еще более быстрыми темпами, чем крупноразмерных фракций космического мусора. Однако, как показывают расчеты, существуют в достаточной степени эффективные механизмы естественной самоочистки, обеспечивающие относительно быстрое высыпание микрочастиц искусственного космического мусора с размерами менее 1 мм в атмосферу Земли.

В данной работе показано, что орбиты в околоземном пространстве можно разделить на две группы, качественно отличающиеся по механизмам и скоростям самоочистки. Для орбит первого типа их очистка определяется воздействием на частицы солнечного света. В результате расчетов показано, что время пребывания микрочастиц на этих орбитах, в первом приближении, пропорционально размеру частиц. Причем для частиц менее 1 мм оно максимально не превышает 30 лет вне зависимости от первоначальной удаленности траекторий их движения от Земли. Поэтому в процессе разрушения искусственных объектов, находящихся на такого рода орбитах, можно ожидать самоочищения околоземного пространства от частиц рассматриваемой фракции космического мусора в пределах нескольких десятилетий. К орбитам данного типа относятся экваториальные орбиты, включая геостационарную. Орбиты второго типа – это траектории с исходным наклоном более 20°–30° к экваториальной плоскости вращения Земли. Воздействие солнечного света на микрочастицы в этом случае не приводит к их непосредственному высыпанию в атмосферу Земли, а вызывает лишь прецессию орбитальной плоскости. Динамика частиц в значительной степени определяется силами вязкого сопротивления плазменного окружения и электродинамического торможения, обусловленными электризацией частиц и их взаимодействием с электрическим и магнитным полями магнитосферы [2]. Время существования микрочастиц на таких орбитах по нашим оценкам на 2–3 порядка превышает время жизни частиц на орбитах первого типа. Из частиц данного сорта, по-видимому, формируется пылевая оболочка Земли естественного происхождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00907-а), Министерства науки и образования РФ (проект № 2.1.1/6996).

1. Микиша А.М., Рыхлова Л.В., Смирнов М.А. Загрязнение космоса. *Вестн. РАН*, 2001, 71, 1, 26–31.
2. Amara L Graps. Properties, charging and dynamics of interplanetary dust particles in Earth's magnetosphere. Eberhard Grün. Max-Planck-Institut für Kernphysik. Heidelberg, Germany, 2000.

Сопоставление лидарных наблюдений средней атмосферы над Камчаткой и г. Томском с результатами моделирования аэрозольных слоев, поддерживаемых силами гравитофотофореза

Шнипов И.С.¹ (ivan_ssh@mail.ru), Черемисин А.А.², Новиков П.В.¹, Бычков В.В.³,
Шевцов Б.М.³, Маричев В.Н.⁴

¹Красноярский институт железнодорожного транспорта, ул. Ладо Кецховели 89, 660028 Красноярск, Россия

²Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

³Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка, Камчатка, Россия

⁴Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

Comparison of lidar observations of middle atmosphere above Kamchatka and Tomsk with aerosol layers simulation based on gravito-photophoretic forces influence

Shnipov I.S.¹, Cheremisin A.A.², Novikov P.V.¹, Bychkov V.V.³, Shevtsov B.M.³, Marichev V.N.⁴

¹Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk, 660028, Lado Ketskhoveri st., 89, phone/fax:

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

³Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Paratunka, Kamchatka, Russia

⁴V.E. Zuev Institute of Atmosphere Optics SB RAS, Tomsk, Russia

В результате обработки лидарных наблюдений, проведенных в 2007–2009 гг. на Камчатке (с. Паратунка), были выделены регулярно наблюдаемые пики отношения обратного рассеяния в верхней стратосфере на высотах 25–50 км и в мезосфере на 60–75 км. А также приведены результаты обработки лидарных наблюдений над г. Томском в январе 2010 г., в результате которых были выявлены диффузные пики отношения обратного рассеяния на высотах 25–45 км.

В данной работе проведены расчеты движения ансамбля аэрозольных частиц с учетом вязкого трения среды и гравитофотофоретической силы, с использованием алгоритмов метода Монте-Карло [1]. Расчеты проводились в соответствии условиям наблюдения на Камчатке и над г. Томском. В качестве параметров атмосферы использовали данные, полученные со спутника Ауга. Поток ИК излучения Земли, поглощаемый частицей, рассчитывается на основе спутниковых данных, полученных в рамках проекта ERBE. Гравитофотофоретические силы рассчитывались согласно методике, описанной в работе [2].

Было рассмотрено движение нескольких типов аэрозольных частиц, отличающихся оптическими характеристиками. Для областей аэрозольного рассеяния в атмосфере над г. Томском, показано соответствие с областями максимумов гравитофотофоретической силы. Для Камчатки рассчитана динамическая картина распределения аэрозольных частиц, которая воспроизводит двухслойную структуру аэрозоля в верхней стратосфере и мезосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00907-а), Министерства науки и образования РФ (проект № 2.1.1/6996), Интеграционного проекта №15 СО РАН.

1. Cheremisin A.A., Vassilyev Yu.V., Horvath H. Gravito-photophoresis and aerosol stratification in the atmosphere. *J. Aerosol Sci.*, 2005, **36**, 11, 1277–1299.
2. Cheremisin A.A. Transfer matrices and solution of the heat-mass transfer problem for aerosol clusters in a rarefied gas medium by the Monte Carlo method. *Rus. J. Numer. Anal. Math. Model.*, 2010, 25, 3, 209–233.

СЕКЦИЯ 9. "ФОТОХИМИЯ И КИНЕТИКА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ И НЕРАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ПЛАНЕТ"

Председатель: проф. И.Л. Кароль (ГГО им. А.И. Воейкова, СПб)

Сопредседатели: Н.Н. Шефов (ИФА РАН, Москва), к.ф.-м.н. В.А. Янковский (СПбГУ, СПб)

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"

Chairman: Prof. I.L. Karol (MGO, Saint-Petersburg)

Co-chairmen: Prof. N.N. Shefov (IFA RAS, Moscow), Dr. V.A. Yankovsky (SPbSU, SPb)

Наблюдения ночного свечения молекулярного кислорода в атмосфере Марса по данным СПИКАМ/КА Марс-Экспресс

Федорова А.А.¹ (fedorova@iki.rssi.ru), Берто Ж.-Л.², Гусякова С.А.¹, Лефевр Л.²,
Кораблев О.И.¹, Монтмессан Ф.², Реберак А.², Гонде Б.³

¹Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

²Лаборатория LATMOS, Гуанкур, Франция

³Институт космической астрофизики, Орсей, Франция

Мы приводим наблюдения ночного свечения молекулярного кислорода в полосе 1.27 мкм на Марсе, выполненные спектрометром СПИКАМ ИК на борту КА Марс-Экспресс. В отличие от дневного свечения кислорода на Марсе в этой полосе, которое является результатом фотодиссоциации озона и было открыто уже давно, ночное свечение на два порядка менее интенсивное и его не удавалось обнаружить вплоть до 2010 г. Оно является результатом рекомбинации атомов кислорода, образовавшихся в процессе фотодиссоциации атмосферных газов (CO₂ для Марса) на дневной стороне планеты на высотах более 70 км и перенесенных на ночную сторону в результате циркуляции ячейки Хедли. Эта реакция хорошо известна как на Земле, так и на Венере. В верхней атмосфере Венеры свечения кислорода на ночной стороне планеты позволяет исследовать характер циркуляции атмосферы Венеры на высотах 90–110 км.

Первые измерения O₂(1Δ) на ночной стороне были проведены инфракрасными приборами на КА *Марс-Экспресс* и *Марс-Реконесанс-Орбитер* на лимбе планеты. Эксперимент СПИКАМ на борту КА *Марс-Экспресс* проводит зондирование марсианской атмосферы в ближнем ИК-диапазоне (1–1.7 мкм) с разрешением 3.5 см⁻¹ в режиме надирных наблюдений, солнечных и звездных затмений. В 2010 году были получены профили свечения на широтах 82–83° Южной поляной шапки для двух последовательностей наблюдений: $L_s = 111–120$ и $L_s = 152–165$ (где L_s – ареоцентрическая долгота Солнца и соответствует в данном случае лету в северном полушарии). Вертикальная интенсивность свечения на этих широтах показала значительный рост от 0.25 до 0.45 MR. Свечение позволило оценить плотность атомов кислорода на высотах от 50 до 70 км, которая варьировалась для проведенных наблюдений от $1 \cdot 10^{11}$ до $3 \cdot 10^{11}$ см⁻³. Сравнение с моделью общей циркуляции Марса показало, что модельные значения свечения завышены в 1.5–2 раза в зависимости от используемых фотохимических коэффициентов. Высоты максимума свечения варьируется от 40 до 52 км, что не воспроизводится моделью на данном этапе.

Возможность одновременного восстановления высотных профилей атомарного кислорода и озона из измерений интенсивностей эмиссий электронно-колебательно возбужденных молекул кислорода в мезосфере и нижней термосфере

Янковский В.А. (vyankovsky@gmail.com), Мануйлова Р.О.

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

Method of simultaneous retrieval of altitude profiles of ozone and atomic oxygen number densities from measured intensities of electronic-vibrationally excited oxygen molecules emissions in the mesosphere and lower thermosphere

Yankovsky V.A., Manuilova R.O.

St.Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

Для детального анализа высотного распределения населенностей электронно-колебательно возбужденных состояний $O_2(b^1\Sigma_g^+, v\leq 2)$ в мезосфере и нижней термосфере используется расширенная модель фотодиссоциации молекулярного кислорода и озона [1]. Для этой задачи рассматривается система кинетических уравнений для 4-х уровней: трех электронно-колебательно возбужденных состояний $O_2(b^1\Sigma_g^+, v\leq 2)$ и первого возбужденного состояния атомарного кислорода $O(^1D)$. Кроме фотолиза озона в полосах Хартли и кислорода в континууме Шумана-Рунге и линии Лайман- α , учитывается также возбуждение трех рассматриваемых колебательных уровней электронного состояния $O_2(b^1\Sigma_g^+)$ за счет прямого поглощения солнечного излучения в полосах 762, 689, 629 нм. Учитываются все возможные процессы тушения возбужденных состояний $O_2(b^1\Sigma_g^+, v\leq 2)$ и $O(^1D)$ при столкновениях с молекулами $O(^3P)$, O_2 , N_2 , O_3 and CO_2 . В целом, в модель включены 27 процессов возбуждения и деактивации $O_2(b^1\Sigma_g^+, v\leq 2)$ and $O(^1D)$. Проведенный нами анализ чувствительности показывает, что высотные профили населенностей $O_2(b^1\Sigma_g^+, v\leq 2)$ существенно зависят от концентраций $O(^3P)$ и O_3 .

В интервале высот 85–120 км состояние $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=2)$ деактивируется в основном за счет столкновений с $O(^3P)$. Высотный профиль населенности $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1)$ по форме близок к высотному профилю $[O_3]$. Высотное распределение населенности состояния $O_2(b, v=0)$ зависит от высотных зависимостей как $[O_3]$, так и $[O(^3P)]$.

Данная работа доказывает возможность одновременного восстановления концентраций озона и атомарного кислорода из измерений различных эмиссий с возбужденных уровней $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0, 1, 2)$ в мезосфере и нижней термосфере.

Работа поддержана грантами РФФИ 09-05-00694, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы», гос.контракт № 16.740.11.0048 от 31.08.2010.

1. Yankovsky V.A., Manuilova R.O. Model of daytime emissions of electronically-vibrationally excited products of O_3 and O_2 photolysis: application to ozone retrieval. *Annales Geophysicae*, 2006, **24**, 11, 2823–2839.

Влияние температуры на формирование интенсивностей многофотонных колебательных переходов молекул атмосферных газов

Гавва С.П. (gavvasp@mail.ru)

Саратовский государственный технический университет, Политехническая 77, 410054 Саратов, Россия

Выполнены исследования возбужденных и высоковозбужденных колебательных состояний многоатомных молекул на основании предложенного аналитического метода операторной теории возмущений, применение которого позволяет определить голоморфную

трансформирующую операторную функцию, преобразующую волновые функции невозмущенного колебательного гамильтониана в возмущенные волновые функции колебательно-вращательного гамильтониана при задании его аналитического представления соответственно схеме Алиева-Уотсона. Основные теоретические результаты выполненных исследований состоят в получении формул, определяющих явные выражения возмущенных вкладов в аналитические разложения волновых функций и уровней энергии возбужденных колебательно-вращательных состояний молекул до любого n -го достаточно высокого порядка теории возмущений. Результаты выполненных теоретических исследований показывают, что аналитическая модель возбужденных колебательных состояний молекул, определяемых колебательно-вращательными взаимодействиями при использовании процесса редукции в рамках применяемого аналитического метода, позволяет описать особенности и достаточно тонкие эффекты смещения центров полос и изменения абсолютных интенсивностей горячих переходов с возрастанием колебательного квантового числа.

Определены выражения сил и вероятностей возбужденных и высоких возбужденных одноквантовых и многофотонных колебательно-вращательных переходов. Получены расчетные формулы абсолютных интенсивностей спектральных линий горячих переходов для любых высоких колебательных квантовых чисел, а также для интегральных интенсивностей полос в ИК спектрах поглощения молекул с учетом температурной зависимости. Разработан обобщенный алгоритм, позволивший осуществить моделирование влияния температуры на формирование интенсивности спектральных линий и интегральных интенсивностей полос. Составленный алгоритм реализован в комплексе расчетных программ. Осуществлен вычислительный эксперимент для абсолютных интенсивностей одноквантовых горячих переходов при изменении колебательного квантового числа $v \leq 10$, для обертонов и колебаний с комбинационными частотами молекулы воды H_2^{16}O и ее тяжелых кислородных изотопов H_2^{17}O и H_2^{18}O , молекулы углекислого газа $^{12}\text{CO}_2$ и изотопа $^{13}\text{CO}_2$, молекулы метана $^{12}\text{CH}_4$ и изотопа $^{13}\text{CH}_4$ в широком температурном интервале $300 \text{ K} \leq T \leq 6000 \text{ K}$. Следует отметить хорошее совпадение с имеющимися экспериментальными данными по интенсивностям линий и полос в ИК спектрах поглощения молекул исследуемых атмосферных газов. Однако большая часть результатов осуществленного вычислительного эксперимента является предсказательной, особенно для тех величин интенсивностей, которые определены при высоких значениях температуры.

Temperature effect on the formation of intensities of multiphotonic vibrational transitions of the atmospheric gases molecules

Gavva Svetlana P. (gavvasp@mail.ru)

Saratov State Technical University, Politekhnikeskaya St. 77, 410054 Saratov, Russia

The studies on excited and highly-excited vibrational states of multiatomic molecules based on the proposed analytical method of operator perturbation theory have been carried out. That method enables one to construct a holomorphic transforming operator function, which converts the wave functions of unperturbed vibrational Hamiltonian into the perturbed wave functions of vibrational-rotational Hamiltonian, the latter's analytical representation being given according to the Watson-Aliev scheme. Principal theoretical results of the research consist in obtaining the formulae that define the explicit expressions for perturbed contributions to the analytical expansions of wave functions and energy levels of the excited vibrational-rotational states of the molecules up to any sufficiently high n -th order of the perturbation theory. The results of theoretical studies performed show that the analytical model of excited vibrational states of molecules determined by the vibrational-rotational interactions, when using the reduction process within the framework of the analytical method applied, allows one to describe the peculiarities and rather fine effects of the bands' centers shifts and of the changes in the absolute intensities of hot transitions with the increase in the vibrational quantum number.

The expressions for forces and probabilities of excited and highly-excited single-quantum and multiphotonic vibrational-rotational transitions have been determined. The calculation formulae for absolute intensities of the hot transitions' spectral lines for any high vibrational quantum number, as well as for the integral intensities of IR absorption spectra bands of molecules with allowance for temperature dependence have been obtained. The generalized algorithm have been developed, which gives the opportunity to realize modeling the temperature influence on the formation of spectral lines' intensities and bands' integral intensities. That algorithm has been put into the complex of computing programs. The calculation experiment has been performed for the absolute intensities of single-quantum hot transitions at vibrational quantum number change $v \leq 10$, for overtones and vibrations with combinational frequencies of water molecule H_2^{16}O and its heavy-oxygen isotopes H_2^{17}O and H_2^{18}O , carbon dioxide molecule $^{12}\text{CO}_2$ and isotope $^{13}\text{CO}_2$, methane molecule $^{12}\text{CH}_4$ and isotope $^{13}\text{CH}_4$ within a wide temperature range of $300 \text{ K} \leq T \leq 6000 \text{ K}$. A good coincidence with the experimental data on the lines' and bands' intensities in the IR absorption spectra of molecules of the atmospheric gases under investigation should be noted. However, the greater part of calculation experiment realized is predictive, especially for those intensity values, which has been determined at high temperature.

Теоретическая апробация метода восстановления высотного профиля атомарного кислорода из интенсивности эмиссии электронно-колебательно возбужденной молекулы $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=2)$ в MLT

Янковский В.А. (vyankovsky@gmail.com), Федотова Е.А.

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

Numerical validation of the method of retrieval of O(3P) altitude profile from intensity of the electronic-vibrationally excited molecule $[\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=2)]$ emission in the MLT

Yankovsky V.A., Fedotova E.A.

St.Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

Существует проблема определения высотного профиля концентрации атомарного кислорода $\text{O}(^3\text{P})$ в нижней термосфере и в средней атмосфере выше мезопаузы. В данной работе показано, что объемные скорости эмиссий возбужденных молекул $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-2)$ существенным образом зависят от высотных профилей $[\text{O}(^3\text{P})]$, $[\text{O}_3]$ и других атмосферных компонент. Для сравнительного анализа влияния вышеперечисленных факторов на профили $[\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-2)]$ использовалась современная модель кинетики электронно-колебательно возбужденных продуктов фотодиссоциации озона и молекулярного кислорода в средней атмосфере Земли YM2010 [1]. В модели YM2010 учтены 27 процессов образования и гибели возбужденных уровней молекулы кислорода в состояниях $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-2)$, в том числе процессы фотодиссоциации O_2 в континууме Шумана-Рунге J_{SRC} и в линии Лайман-Альфы $J_{\text{Ly}\alpha}$, O_3 в полосе Хартли J_{Hartley} и резонансное поглощение солнечного излучения J_{b0} , J_{b1} , J_{b2} молекулами O_2 в полосах 762, 689 и 629 нм. Для того, чтобы выяснить роль атомов атомарного кислорода в формировании высотных профилей $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-2)$, был проведен анализ чувствительности модели путём варьирования следующих параметров: L_{SRC} , $J_{\text{Ly}\alpha}$, J_{Hartley} , J_{b0} , J_{b1} , J_{b2} , $[\text{O}_3]$, $[\text{N}_2]$, $[\text{O}_2]$, T_g , квантовых выходов и констант скоростей аэрономических реакций.

В работе показано, что профиль $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=2)$ существенно более чувствителен к вариациям атомарного кислорода, чем профили $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-1)$ [2]. Важно отметить, что высотный профиль $[\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v=2)]$ не зависит от озона. Результаты анализа чувствительности позволили сформулировать и решить обратную задачу по восстановлению

высотного профиля $[O(^3P)]$ из высотного профиля $[O_2(b^1\Sigma_g^+, v=2)]$ в интервале высот 85–120 км. Апробация предлагаемой методики восстановления $[O(^3P)]$ была проведена на основе данных спутникового эксперимента TIMED-SABER путём численного эксперимента.

1. Yankovsky V.A., Manuilova R.O. Model of daytime emissions of electronically-vibrationally excited products of O_3 and O_2 photolysis: Application to ozone retrieval. *Annales Geophysicae*, 2006, **24**, 11, 2823–2839.
2. Yankovsky V.A., Fedotova E.A. New method for retrieving the atomic oxygen vertical profile from measured intensity of the emission of electronically-vibrationally excited O_2 band in the mesosphere and lower thermosphere. *5 international conference 'Atmospheric physics, climate, and environment'*, 2010, 64.

Использование эмиссий электронно-колебательно возбужденных молекул $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0, 1)$ для восстановления высотного профиля озона в средней атмосфере

Янковский В.А. (vyankovsky@gmail.com), Мартышенко К.В.

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

Use of emission of electronic-vibrationally excited $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0, 1)$ molecules for retrieval of ozone vertical profile in the middle atmosphere

Yankovsky V.A., Martishenko K.

St.Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

В работе рассмотрена возможность восстановления высотного профиля озона из наблюдения эмиссий молекулы $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0, 1)$. Для анализа использовалась модифицированная модель электронно-колебательных возбужденных продуктов фотодиссоциации озона и молекулярного кислорода в мезосфере и нижней термосфере, YM2010 [1].

С помощью YM2010 в прямой задаче были рассчитаны высотные профили концентраций $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0)$, $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1)$ и $O(^1D)$. В расчетах использовались модели атмосфер из серии событий TIMED-SABER (для средних широт), а также скорости и квантовые выходы продуктов 27 аэрономических реакций, скорости фотолиза озона в полосе Хартли и кислорода в континууме Шуман-Рунге и линии Лайман-альфа.

В обратной задаче рассчитанные концентрации $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0)$ и $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1)$ рассматривались как известные, и с их помощью восстанавливался высотный профиль озона. Для этого был проведен анализ чувствительности модели электронно-колебательной кинетики фотолиза O_2 и O_3 в зависимости от вариаций всех входящих в модель параметров (концентраций атмосферных компонент, температуры газа, скоростей фотодиссоциации, констант скоростей реакций и квантовых выходов продуктов в этих реакциях) [2]. В результате найдены компоненты и реакции, оказывающие наибольшее влияние на расчеты. Обнаружена более высокая чувствительность к вариациям озона в интервале высот $z = 50\text{--}92$ км концентрации молекул $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1)$ по сравнению с $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0)$. $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0)$ имеет относительно высокую чувствительность к вариациям озона на высотах $z = 90\text{--}103$ км. Наряду с полным решением обратной задачи рассмотрено параметризованное решение, при котором реакции с наименьшей чувствительностью игнорируются.

Работа поддержана грантами РФФИ 09-05-00694, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы», гос.контракт № 16.740.11.0048 от 31.08.2010.

1. Yankovsky V.A., Manuilova R.O. Model of daytime emissions of electronically-vibrationally excited products of O_3 and O_2 photolysis: Application to ozone retrieval. *Annales Geophysicae*, 2006, **24**, 11, 2823.
2. Yankovsky V.A., Kuleshova V.A. 2010 Model of daytime emissions of electronically-vibrationally excited products of O_3 and O_2 photolysis: sensitivity analysis of direct and inverse problems. *37th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods*, 23-27 August 2010, Valladolid, Spain; http://goa.uva.es/37AM/media/presentaciones/7.5-VA_Yankovsky.pdf

Временные вариации скорости фотодиссоциации кислорода и озона и концентрации O(1D) в мезосфере и нижней термосфере

Семенов А.О. (semenov@lmupa.phys.spbu.ru)

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

Представлена оценка амплитуды временных вариаций скорости фотолиза кислорода и озона в мезосфере и нижней термосфере, обусловленных изменением потока внеатмосферного солнечного излучения за период с 1979 по 2005 г. Максимальная амплитуда вариаций скорости фотодиссоциации для 11-летнего цикла составляет 25 % в континууме Шумана-Рунге и 5.5 % в полосах Хартли, и 10 % и 2 %, соответственно, для квазидвухлетних осцилляций.

Высотный профиль концентрации O(1D) в мезосфере и нижней термосфере варьируется в пределах 30 % за 11-летний цикл солнечной активности. Профиль концентрации O(1D) сильно зависит от величины зенитного угла Солнца. В сумеречных условиях возникает пик концентрации O(1D) на высотах 85–95 км.

Time variations of O₂ and O₃ photolysis rate and O(1D) atom concentration in the mesosphere and lower thermosphere

Semenov A.O. (aleksem@mail.ru)

St. Petersburg State University, Faculty of Physics, Ulyanovskaya 1, St.Petersburg-Petrodvorets, 198504 Russia

Variations of O₂ and O₃ photolysis rate in the mesosphere and lower thermosphere caused by solar flux variability are analyzed in the interval 1979–2005.

Vertical profile of O(1D) concentration as a function of solar activity level and solar zenith angle is studied. Peak of O(1D) concentration during twilight is revealed at 85–95 km altitudes.

Авторский указатель

Абакумова Г.М.	17, 148, 154	Волкова Е.В.	38, 39
Авакян С.В.	159	Волкович А.Н.	25
Акулинин А.А.	168	Воронин Н.А.	159
Александров В.Ю.	40	Воронина Ю.В.	95
Алексеева Г.А.	67	Вульфсон А.Н.	79
Алленов М.И.	65	Гавва С.П.	209
Алсаткин С.С.	62	Гаврик А.Л.	200
Аммосов П.П.	199	Гаврик Ю.А.	200
Андреев В.Е.	180, 181, 185	Гаврилов А.А.	173
Андреев С.Ю.	123	Гаврилов В.Р.	160
Анискина О.Г.	26	Гаврилович А.Б.	25, 100, 101, 127
Арефьев В.Н.	48, 70, 166	Гаврильева Г.А.	199
Аршинов М.Ю.	152	Галин В.Я.	202
Асмус В.В.	15	Галкин В.Д.	67
Афонин С.В.	104	Гонде Б.	208
Бадак Л.А.	46	Горбаренко Е.В.	17, 141, 144, 148, 154, 165
Баландин С.Ф.	42, 44	Горда С.Ю.	118
Барканов С.В.	105	Городничев Е.Е.	96
Бархатов А.Э.	28	Горчаков Г.И.	9, 124
Басс Л.П.	81, 82, 83	Горчакова И.А.	116
Бедарева Т.В.	109, 123	Грачёва А.И.	83
Белан Б.Д.	152	Гречко Е.И.	49
Беликов И.Б.	72	Грибанов К.Г.	69
Белинская А.Ю.	184	Григорович Н.М.	102
Беляев Д.А.	201	Григорьева П.П.	25
Бергер Ф.-Х.	67	Грицаева М.Н.	179
Береснев С.А.	69, 118	Груздев А.Н.	52
Берто Ж.-Л.	208	Губенко В.Н.	180, 181, 185
Бобров Е.В.	94	Гурвич И.А.	26
Бобылев Л.П.	26, 46	Гуслякова С.А.	208
Бойко В.А.	30	Гущин Г.К.	17
Большаков О.С.	164	Давыдов Д.К.	152
Борисова Н.Ф.	126	Демин В.С.	162
Боровик Ф.Н.	86	Деминов И.Г.	192
Боровский А.Н.	72	Джола А.В.	72
Бородин О.О.	79	Дмитриев Е.В.	25
Бручковский И.И.	72, 162	Дмитриева-Аппаго Л.Р.	135
Будак В.П.	83	Драбенко В.А.	65
Булнина Н.А.	148	Дубровская О.А.	130
Бунтов Д.В.	124	Дядюченко В.Н.	15
Бурдакин А.А.	171	Егоров А.Д.	65
Бурлаков А.В.	202	Егорова Т.А.	19
Бычков В.В.	191, 205, 207	Еланский Н.Ф.	72
Ван Генчен	113	Елисеев А.А.	167
Варгин П.Н.	172	Елохов А.С.	51, 52, 72
Васильев А.А.	60, 77	Емиленко А.С.	9, 113
Васильев Ю.В.	206	Еремина И.Д.	165, 169
Васильева С.Ю.	129	Ефимов А.Е.	161
Вельмухова И.А.	102	Ефременко Д.С.	83
Викерт Е.	32, 181	Жданова Е.Ю.	140, 149
Винокуров А.А.	105	Житницкий Е.А.	29
Виролайнен Я.А.	13, 78	Журавлева Т.Б.	109, 137
Вишератин К.Н.	189	Заболотских Е.В.	26
Власенко С.С.	129		

Завгородний А.С.	164	Куликов А.К.	25
Загребасев В.Ф.	15	Курбангалиев Т.Р.	60
Задорожный А.М.	192	Курбатов Г.А.	9, 60, 124
Закинян Р.Г.	179, 188	Куркин В.И.	191
Занг К.	32, 180	Куршаков М.Ю.	62
Захаров В.И.	69	Кустов В.Ю.	117
Зернов Н.Н.	40	Кутуза Б.Г.	61
Зубов В.А.	19	Кушнарев Д.С.	62
Иванов В.А.	51, 52, 72	Кушнарченко А.В.	131
Иванов В.Н.	65	Кшевецкая М.А.	13, 53, 55
Иванов В.С.	160	Лазоренко О.В.	63, 64
Ивлиев С.В.	96	Ларченко И.Н.	188
Игнатьев А.Н.	196, 197	Лебедев В.П.	62
Ильин В.Б.	105, 131	Лезина Е.А.	9
Илюшин Я.А.	85	Лефевр Л.	208
Имашев С.А.	57, 111, 119, 121	Липатов К.В.	198
Иммлер Ф.	67	Лисянский Б.Е.	160
Имранова К.М.	171	Лиу Й.	32, 181
Имхасин Х.Х.	13	Логвиненко С.В.	164
Ионов Д.В.	13, 53, 55, 73	Лозицкая Н.И.	159
Исаков А.А.	9, 113, 128	Лозицкий В.Г.	159
Кабанов Д.М.	104, 117, 118, 123	Лужецкая А.П.	118
Калашник М.В.	176, 177	Лукин А.Н.	164, 196, 197
Калинников В.В.	60	Лукин В.В.	163
Каллис А.	17	Лукьянов А.Н.	172
Камышанов А.О.	61	Ляйтерер У.	67
Капитанов В.А.	95	Макарова М.В.	13, 55
Капица А.П.	173	Максакова С.В.	25
Кароль И.Л.	14, 19, 138	Мальбахов В.М.	130
Карпов А.В.	9, 124	Манжелей А.И.	62
Кашин Ф.В.	48, 70, 166	Мануйлова Р.О.	209
Киселев А.А.	14, 19	Маричев В.Н.	191, 205, 207
Козлов В.С.	108	Маркелов Ю.И.	118
Козодеров В.В.	25, 56	Мартышенко К.В.	212
Козодоев А.В.	102	Мателенок И.В.	34
Козырева Л.В.	161	Махоткина Е.Л.	142
Колтовской И.И.	199	Медведева И.В.	190
Комраков Г.П.	194	Милехин В.Л.	166
Копейкин В.М.	9, 124	Милехин Л.И.	166
Копнина Т.Ф.	200	Милехин О.Е.	15
Кораблев О.И.	201, 208	Митник Л.М.	26
Корниенко Г.И.	123	Митник М.Л.	26
Косцов В.С.	30	Михайлов Е.Ф.	129
Кохановский А.А.	86, 100, 137	Михалев А.В.	203
Кочегаров С.Ф.	161	Монтмессан Ф.	208
Крайнюков И.А.	40	Морозова С.П.	160
Крамчанинова Е.К.	45	Мохов И.И.	22, 116
Красильников А.А.	194, 195	Музылев Е.Л.	33
Краснокутская Л.Д.	25	Наговицына Е.С.	116
Кровотынцев В.А.	15	Незваль Е.И.	140, 141, 154
Кропоткина Е.П.	196, 197	Нейман Л.	17, 146
Крутиков В.Н.	160	Нерушев А.Ф.	28
Кузнецов В.С.	81	Ниберт Т.	67
Кузнецов А.А.	194, 195	Никанорова И.Н.	67
Кузовлев А.И.	96	Николаева О.В.	81, 82, 100
Кулешов Ю.	32, 180	Николашкин С.В.	117, 191
Куликов Ю.Ю.	194, 195	Никольский Г.А.	145, 159

Ничкова Н.М.	206	Рыбченко Л.С.	144, 148
Новиков В.В.	67	Рыскин В.Г.	195
Новиков П.В.	205, 207	Савенкова Е.Н.	175
Огарев С.А.	160	Савчук С.В.	148
Ойнац А.В.	184	Сакерин С.М.	104, 117, 118, 123
Окулов О.	17, 146	Салимзянов Р.Р.	32, 180, 181, 185
Осипов В.М.	126	Салль И.А.	156
Осипов К.Ю.	95	Сальников И.Б.	67
Осипов С.И.	13	Самойлов М.Л.	160, 171
Охвирль Х.	17, 146	Самукова Е.А.	150
Ошуркова А.А.	65	Саприцкий В.И.	160, 171
Павельев А.А.	32, 180	Сафронов А.Н.	49
Павельев А.Г.	32, 180, 181, 185	Свердлик Л.Г.	57, 111, 119, 121
Панфилов А.С.	160, 171	Свириденков М.А.	9, 106, 109
Панченко М.В.	108	Семенов А.И.	19, 190
Пахомов В.П.	67	Семенов А.О.	213
Перевалова Н.П.	183	Семутникова Е.Г.	9
Перминов В.И.	186	Сенников П.Г.	102
Перов В.Л.	135	Сизов Н.И.	48
Перфильев А.С.	163	Синяков В.П.	48
Перцев Н.Н.	186	Скляднева Т.К.	152
Петров Н.Н.	30	Смирнов А.В.	9
Петрушин А.Г.	125	Смирнова М.М.	136
Плахина И.Н.	142	Смирнова Ю.Е.	26
Поберовский А.В.	13, 53, 54, 55, 73, 78, 195	Смыков В.П.	168
Погорельцев А.И.	174, 175, 183	Смышляев С.П.	202
Поддубный В.А.	69, 116, 118	Соколов А.В.	124
Покровский О.М.	134	Соловьев В.И.	15
Полькин В.В.	104, 108	Солодилов М.В.	160
Поляков А.В.	13, 30, 54	Соломонов С.В.	164, 196, 197
Полякова А.С.	183	Спорышев П.В.	133
Пономарев Ю.Н.	95	Стадник В.В.	156, 157
Пономарева Т.Я.	9	Старцева З.П.	33
Постыляков О.В.	51, 52, 72	Стрелков С.А.	25
Потапов А.А.	58, 63, 64	Сухинин А.И.	130
Потапова И.А.	65	Сухоруков А.И.	74, 76
Потехин А.П.	62	Сушкевич Т.А.	25, 36
Пригарин С.М.	92	Твердохлебова Е.М.	62
Протасевич А.Е.	95	Тептин Г.М.	60
Псаломщикова Л.М.	157	Тереб Н.В.	166
Пузанов А.В.	160	Терез Г.А.	17
Пучков В.В.	163, 171	Терез Э.И.	17
Ракитин А.В.	13, 78	Терпугова С.А.	108, 117
Ракитин В.С.	49	Тимофеев Ю.М.	13, 30, 53, 54, 55, 78
Раков В.В.	171	Тимофеева Н.И.	62
Ратовский К.Г.	62	Третьяков Н.Д.	65
Реберак А.	208	Трофимова О.В.	156, 157
Ржонсницкая Ю.Б.	65	Турчинович С.А.	104
Роговцов Н.Н.	86, 88	Удалова Т.А.	29
Рогозкин Д.Б.	96	Упэнэк Л.Б.	48, 166
Родин А.В.	202	Ус Е.А.	171
Розанов Е.В.	19	Успенский А.Б.	15, 29, 30, 33, 37, 38, 39, 45
Розанов С.Б.	164, 196, 197	Успенский С.А.	15, 37
Рокотян Н.В.	69	Устюгов С.Д.	25
Рублев А.Н.	29, 37	Уустаре М.	17
Руссак В.	17	Фазлиев А.З.	102

Фалалеева В.А.	25, 97	Alekseeva G.A.	68
Фарафонов В.Г.	105, 131	Alpert P.	31
Фёдоров В.О.	65	Andreev S.Yu.	182, 186
Федорова А.А.	201, 208	Andreev V.E.	181
Федотова Е.А.	211	Appel I.	35
Филиппов Н.Н.	102	Aref'ev V.N.	49
Фирсов К.М.	94	Armante R.	12
Фокеева Е.В.	49	Asgari J.	71
Фомин Б.А.	25, 30, 97	Asmus V.V.	16
Фофонов А.В.	152	Badak L.A.	46
Фролов В.Л.	194	Balandin S.F.	43, 44
Фролькис В.А.	14, 138	Bates J.J.	23
Харин А.С.	135	Baum B.A.	23
Хахинов В.В.	62	Bedareva T.V.	110
Хисматов И.Ф.	74, 76	Belikov I.B.	68, 72
Хлебникова Е.И.	156	Berger F.-H.	68
Хлевной Б.Б.	160	Bertaux J.-L.	201
Холбен Б.Н.	9	Bobylev L.P.	11, 46
Хохлов В.Н.	163	Borovik F.N.	87
Хуторов В.Е.	47, 60	Borovsky A.N.	72
Хуторова О.Г.	60, 70	Boutammime Ch.	12
Цветков А.В.	150	Bovensmann H.	160
Чайковская Л.И.	98	Bramstedt K.	160
Чен Б.Б.	57, 111, 119, 121	Bril A.	42
Черемисин А.А.	131, 205, 206, 207	Bruchkovsky I.I.	72
Черниговская М.А.	184, 191	Budak V.P.	84
Черногор Л.Ф.	63, 64	Burrows J.P.	97, 160
Чернокульский А.В.	22	Camy-Peyret C.	45
Черный И.В.	45	Capelle V.	12
Чеснокова Т.Ю.	94, 95	Chaikovskaya L.I.	99
Чубарова Н.Е.	9, 106, 140, 141, 149	Chédin A.	12
Шагалов О.В.	83	Chen B.B.	57, 112, 120, 122
Шаламянский А.М.	193	Chen Z.	10
Шанина И.Н.	157	Chernokulsky A.V.	22
Шари В.П.	25	Chesnokova T.Yu.	95
Шатунова М.В.	135	Chubarova N.Ye.	10, 107
Шевцов Б.М.	205, 207	Crépeau L.	12
Шематович В.И.	20	Crevoisier C.	12
Шефов Н.Н.	190, 198	De Mazière M.	93
Шиловцева О.А.	141, 152, 154	Dmitrieva-Arrago L.R.	136
Шишигин С.А.	42, 44	Doicu A.	70
Шмерлин Б.Я.	177	Drabenko V.A.	66
Шмерлин М.Б.	177	Dyaduchenko V.N.	16
Шмутц В.	19	Dzhola A.V.	72
Шнипов И.С.	207	Eck T.F.	15
Шпынев Б.Г.	62, 184	Efremenko D.S.	84
Штанюк А.М.	164	Elansky N.F.	72
Шульц Э.О.	159	Elokhov A.S.	52, 72
Шумский Р.А.	49, 72	Emilenko A.S.	10, 114
Энгель М.В.	104	Ermolenko S.I.	187
Юрганов Л.Н.	49	Falaleeva V.	98
Юшков В.П.	59	Fokeeva E.B.	50
Яговкина И.С.	13, 54	Fomin B.	98
Янковский В.А.	209, 211, 212	Frolkis V.	14, 139
Abakumova G.M.	17, 155	Galkin V.D.	68
Aculinin A.A.	168	Gavrilov A.A.	174
Aeini N.	71	Gavrilov N.M.	185

Gavva S.P.	210	Lipatov K.V.	199
Gheibi A.	38	Liu X.	40, 41
Giles D.M.	15	Machida T.	152
Gorbarenko Ye.V.	17, 155	Makarova M.V.	13, 50, 55
Gorchakov G.I.	10	Makhotkina E.L.	143
Grechko E.I.	50	Maksyutov Sh.	42
Gruzdev A.N.	52	Memarian M.H.	38, 122, 204
Gubenko V.N.	181, 182, 186	Menzel P.W.	23
Gurvich I.A.	27	Mikhalev A.V.	203
Gushchin G.	18	Milekhin O.E.	16
Hoffmann P.	189	MirRokn S.M.	122, 204
Holben B.N.	10, 15, 117, 118	Mitnik L.M.	27
Hoseini L.	38	Mitnik M.L.	27
Imashev S.A.	57, 112, 120, 122	Mohammadiha A.	122
Imhasin H.H.	13, 50	Mokhov I.I.	22
Immler F.	68	Montmessin F.	201
Ionov D.V.	13, 53, 55, 73	Morino I.	42
Irie H.	72	Naeber T.	68
Isakov A.A.	10, 114	Neiman L.	17, 147
Ivanov V.A.	52, 72	Nezval' Ye.I.	155
Jackson D.L.	23	Nikanorova I.N.	68
Jacobi Ch.	18, 176, 187, 189	Noel S.	160
Jacquinet-Husson N.	12	Novikov V.V.	68
Kalashnik M.V.	178	Ohvril H.	17, 147
Kalashnikova O.	31	Okulov O.	17, 147
Kallis A.	18	Olson E.	23
Kanaya Y.	72	O'Neill N.T.	15
Kapitanov V.A.	95	Oshchepkov S.	42
Kapitsa A.P.	174	Oshurkova A.A.	66
Karol I.L.	14, 139	Osipov K.Yu.	95
Karpov A.V.	10	Osipov S.I.	13, 50, 74
Karpova N.V.	187	Pakhomov V.P.	68
Kashin F.V.	49	Patzer A.B.C.	113
Kerzenmacher T.	93	Pavelyev A.A.	32, 181
Kharin A.S.	136	Pavelyev A.G.	32, 181, 182, 186
Khismatov I.	75	Payan S.	45
Kireev S.	10	Perov V.L.	136
Kiselev A.A.	14	Placke M.	189
Kishcha P.	31	Plakhina I.N.	143
Kitzmann D.	113	Poberovsky A.V.	13, 50, 53, 54, 55, 73, 74, 78
Knyazikhin Yu.	91	Pogoreltsev A.I.	175, 176
Kochenova S.	93	Pokrovsky O.	134
Kokhanovsky A.A.	24, 87, 97	Polyakov A.V.	13, 30, 54
Kolat U.	23	Ponomarev Yu.N.	95
Kopeikin V.M.	10	Ponomareva T.Ya.	10
Kostsov V.S.	30, 74	Postylyakov O.V.	52, 72
Koval A.V.	185	Potapova I.A.	66
Krovotyncey V.A.	16	Protasevitch A.E.	95
Kshevetskaya M.A.	13, 53, 55	Psalomschikova L.M.	158
Kuleshov Y.	32, 181	Rakitin A.V.	13, 78
Kumps N.	93	Rakitin V.S.	50
Larar A.M.	40, 41	Rauer H.	113
Leiterer U.	68	Rogovtsov N.N.	87, 90
Letocart V.	93	Romanov S.	45
Lezina E.A.	10	Rozanov A.	97
Liebing P.	160	Rozanov V.V.	24, 97
Liou Y.-A.	32, 182		

Russak V.	17	Suhorukov A.	75
Rzhonsnitskaya Y.B.	66	Sverdlik L.G.	57, 112, 120, 122
Saati A.R.	71	Sviridenkov M.A.	10, 107, 110
Safronov A.N.	50	Takashima H.	72
Sal'nikov I.B.	68	Terez G.	18
Salimzyanov R.R.	32, 181, 182, 186	Terez E.	18
Samukova E.A.	151	Timofeyev Y.M.	13, 30, 50, 53, 54, 55, 78, 79
Sasakawa M.	152	Trautmann Th.	70, 113
Savenkova E.	176	Trofimova O.V.	158
Schafer J.	15	Tsvetkov A.V.	151
Schreier F.	70, 113	Unglaub Cl.	189
Scott N.	12	Upenek L.B.	49
Semenov A.I.	19	Uspensky A.B.	16, 39, 45
Semenov A.O.	213	Uspensky S.A.	16
Semoutnikova E.G.	10	Uustare M.	18
Shagalov O.V.	84	Vandaele A.C.	93
Shanina I.N.	158	Vasquez M.	113
Shatunova M.V.	136	Virolainen Ya.A.	13, 79
Shefov N.N.	199	Visheratin K.N.	190
Shematovich V.I.	21	Vogt P.	70
Shilovtseva O.A.	153	Voronina Yu.V.	95
Shishigin S.A.	43, 44, 155	Walker K.A.	54
Shmerlin B.Ya.	178	Wang Gengchen	114
Shmerlin M.B.	178	Weisz E.	10
Shumsky R.A.	50, 72	Wendt S.	187
Shved G.M.	187	Wickert J.	32, 182
Sinyakov V.P.	49	Willame Ya.	93
Sinyuk A.	15	Wylie D.P.	23
Sizov N.I.	49	Xu J.	70
Slutsker I.	15	Yagovkina I.S.	13, 54
Smicov V.P.	168	Yegorov A.D.	66
Smirnov A.V.	10, 15, 117, 118	Yokota T.	42
Smith Sr., W.L.	10, 40, 41	Yurganov L.N.	50
Solovyev V.I.	16	Zagrebayev V.F.	16
Sorokin M.	117	Zhang K.	32, 181
Stadnik V.V.	158	Zhou D.K.	40, 41
Starobinets B.	31	Zhuravleva T.B.	110
Stober G.	189		