ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ

«АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ и ДИНАМИКА»

(МСАРД – 2017)

27 – 30 июня 2017, Санкт-Петербург-Петродворец

Тезисы

Санкт–Петербург

2017

GOVERMENT OF RUSSIAN FEDERATION

SAINT – PETERSBURG STATE UNIVERSITY

INTERNATIONAL SYMPOSIUM

«ATMOSPHERIC RADIATION and DYNAMICS»

(ISARD – 2017)

27 – 30 June 2017, Saint-Petersburg- Petrodvorets

Theses

Saint–Petersburg

2017

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА:

Р И

Российский фонд фундаментальных исследований

THE SUPPORT:

Russian Foundation for Basic Research

ОГЛАВЛЕНИЕ (TABLE of CONTENTS)

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ 6
PLENARY SESSION 6

СЕКЦИЯ 1. "СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ и ПОВЕРХНОСТИ" 16
SESSION 1. "SATELLITE SOUNDING OF ATMOSPHERE AND SURFACE" 16

СЕКЦИЯ 2. "ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ и ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ в РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА" 54
SESSION 2. "REMOTE SENSING OF ATMOSPHERE AND UNDERLYING SURFACE IN DIFFERENT SPECTRAL RANGES" 54

СЕКЦИЯ 3. "ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ" 95
SESSION 3. "RADIATION TRANSFER THEORY" 95

СЕКЦИЯ 4. "ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ с ОБЛАКАМИ и АЭРОЗОЛЕМ" 116
SESSION 4. "RADIATION-CLOUD AND RADIATION-AEROSOL INTERACTIONS" 116

СЕКЦИЯ 5. "РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ и РАДИАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ в МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ и КЛИМАТА" 159
SESSION 5. "RADIATIVE CLIMATOLOGY AND ALGORITHMS IN MODELS FOR WEATHER AND CLIMATE FORECASTING" 159

СЕКЦИЯ 6. "НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ и ПОВЕРХНОСТИ" 192
SESSION 6. "FIELD STUDIES OF RADIATIVE CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERE AND SURFACE" 192

СЕКЦИЯ 7. "ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН, МАКРОЦИРКУЛЯЦИЯ и ДИНАМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ в АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ и ДРУГИХ ПЛАНЕТ" 203
SESSION 7. "WAVE CHARACTERISTICS, MACROCIRCULATION AND DYNAMICS INTERACTIONS IN ATMOSPHERES OF THE EARTH AND OTHER PLANETS" 203

СЕКЦИЯ 8. "СТРУКТУРА и СОСТАВ СРЕДНЕЙ и ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ и ДРУГИХ ПЛАНЕТ" 230
SESSION 8. "STRUCTURE OF MIDDLE AND UPPER ATMOSPHERE OF THE EARTH AND OTHER PLANETS" 230

СЕКЦИЯ 9. "ФОТОХИМИЯ и КИНЕТИКА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ АТОМОВ и МОЛЕКУЛ и НЕРАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ в АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ и ДРУГИХ ПЛАНЕТ" 256
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" 256

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 263
AUTHORS INDEX 267

Расширенная теория подобия и размерности: галактики

Голицын Г.С. (gsg@ifaran.ru)

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

Предложено практическое расширение теории подобия и размерности на случай нескольких параметров подобия. Для галактик на этой основе дано объяснение эмпирических корреляций, замеченных в последней четверти XX века: соотношение Тулли-Фишера, понятие фундаментальной плоскости и др. Для галактик, кроме вириала, есть другой параметр подобия, выбор которого произволен. Здесь он введён в простейшем для эмпирического определения виде: $\Pi_1 = U_0 / U_d$, U_0 – наблюдаемая скорость, $U_d = (GL)^{1/5}$ – её размерный масштаб, где L – светимость объекта, G – постоянная гравитации. Произвол в выборе второго критерия подобия связан с избытком измеряемых величин (светимость, размер, масса, скорость), каждая из которых определяется тремя единицами измерений: кг, метр, секунда. Поэтому для каждой из них можно организовать несколько размерных масштабов. Отношение к ним измеряемых величин даёт параметр подобия, связанный с двумя, названными выше. Выбор 26 близких к нам карликовых галактик и 16 больших галактик даёт, что параметры подобия порядка единицы, т.е. предложенные масштабы близки к измеренным величинам с коэффициентами корреляции от 0.75 до 0.95. Есть надежда, что рассмотрение гораздо большей статистики с учётом классификации Хаббла форм объектов ещё повысит корреляцию.

Extended theory of similarity and dimensions: galaxies

G.S. Golitsyn (gsg@ifaran.ru)

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

A practical extension of the similarity and dimension theory on the case of two similarity parameters with application to galaxies is given. On this base an explanation is proposed for the essence of empirical correlations found in the last quarter of the XX century: Tully-Fisher relation between velocity and luminosity and the Fundamental Plane – multiple empirical correlation among three measured characteristics. In this case there are several dimensional scales based on the measured quantities. For the time scale there are 10 possibilities, only 9 could be realized. For dwarf galaxies the time scale is of order few million years, for large galaxies like Andromed it is several hundred million years. These scales correspond to the measured values with high correlation from 0.75 to 0.95, as will be seen from the graphs.

Оценка радиационных и температурных эффектов аэрозоля в фоновых и задымленных условиях атмосферы Сибири на основе эмпирических данных

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru), Панченко М.В., Кабанов В.М., Козлов В.С., Насртдинов И.М., Полькин В.В., Сакерин С.М., Терпугова С.А., Чернов Д.Г.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия

Летом 2012 г. в сибирском регионе в условиях малоградиентного барического поля повышенного давления сформировался устойчивый антициклон, следствием которого стали лесные и торфяные пожары на территории Омской, Томской, Новосибирской области, части Красноярского края, Ханты-Мансийского автономного округа и Якутии. Целью настоящей

работы является оценка радиационных и термических эффектов аэрозоля в экстремально задымленной атмосфере и их сопоставление с соответствующими характеристиками в фоновых условиях Западной Сибири на основе эмпирической модели вертикальных профилей оптических характеристик аэрозоля и методов численного моделирования переноса солнечного излучения.

Входными параметрами эмпирической модели являются данные о коэффициенте направленного рассеяния, массовой концентрации поглощающего вещества («сажи»), параметра конденсационной активности и функции распределения аэрозольных частиц по размерам. Для восстановления вертикальных профилей оптических характеристик аэрозоля в интервале 0.37–0.87 мкм в фоновых условиях обобщены результаты самолетных измерений 1999–2011 г. Оптические характеристики дымового аэрозоля определены по данным наземных и самолетных измерений, выполненных самолетом-лабораторией ИОА СО РАН ТУ-134 «Оптик» в северо-восточных районах Сибири (55–62° с.ш., 83–130° в.д.) по маршруту Мирный – Якутск – Братск – Новосибирск в августе 2012 г. Аэрозольная оптическая толща (АОТ(0.55 мкм)) в фоновой атмосфере и дымной мгле равнялась 0.117 и 2.1 соответственно; усредненные по столбу атмосферы значения альбедо однократного рассеяния (АОР) составили 0.94 и 0.88. В дымовых условиях значение АОР было ниже средних значений альбедо однократного рассеяния, восстановленных по данным AERONET-наблюдений в зоне бореальных лесов (0.95–0.96).

Для моделирования потоков восходящего и нисходящего солнечного излучения (0.2–5.0 мкм) использован оригинальный алгоритм метода Монте-Карло. Радиационные расчеты выполнены для астрономических условий г. Томска, соответствующих 15 июля, с интервалом 0.5 часа. Результаты численного моделирования суточных значений радиационных характеристик показали следующее. В фоновых условиях количество энергии, поглощенной в слоях атмосферы (до 7 км), определяется стратификацией концентрации водяного пара, а радиационное воздействие аэрозоля даже в нижнем одно-километровом слое не превышает 10 %. В присутствии оптически плотного сильно поглощающего дымового слоя доминирующая роль в формировании поглощения солнечной радиации принадлежит аэрозольным частицам с высоким содержанием «сажи»: радиационное воздействие аэрозоля на поглощение составляет десятки процентов, а в слое 3–4 км достигает 50–80 % в зависимости от АОТ. Вертикальные профили поглощенного излучения и коэффициентов ослабления и поглощения аэрозоля коррелируют между собой и достигают наибольших значений в центральной части дымового слоя. Детальный анализ показывает, что положение максимума поглощения находится выше (3–4 км) относительно положения максимальных значений коэффициентов ослабления и поглощения (2–3 км). Это связано с присутствием над уровнем $z = 3$ км плотного дыма, который уменьшает поток суммарной солнечной радиации на верхней границе ниже лежащих слоев атмосферы. Наибольшее изменение температуры наблюдается в средней части дымового слоя, где скорости нагревания равны 2.5°K/сут при АОТ(0.55 мкм) = 2, увеличиваясь до 5.5°K/сут при АОТ(0.55 мкм) = 4. Прилегающие к поверхности Земли слои атмосферы прогреваются слабее, особенно в утренние и вечерние часы. В работе представлены параметризации дефицита суточных значений суммарной солнечной радиации на уровне ПП, а также радиационного воздействия аэрозоля на уровне верхней и нижней границах и в столбе атмосферы при изменении АОТ от 0.5 до 4.

Работа выполнена при частичной поддержке комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН № II.2П «Интеграция и развитие» (проект II.2П/IX.135-10).

Aerosol radiation and temperature effects in background and smoke pollution conditions on the basis of empirical data in the atmosphere of Siberia

T.B. Zhuravleva (ztb@iao.ru), M.V. Panchenko, V.M. Kabanov, V.S. Kozlov,
I.M. Nasrtdinov, V.V. Polkin, S.M. Sakerin, S.A. Terpugova, D.G. Chernov
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia

During summer 2012 in the Siberian region, the conditions of small-gradient baric filed had led to formation of stable anticyclone, which consequences forest and peat fires had been on the territory of Omsk, Tomsk, Novosibirsk regions, a part of Krasnoyarsk Krai, Khanty-Mansi Autonomous Okrug, and Yakutia. The purpose of this inverstigation is to estimate the radiative and thermal effects of aerosol in the extremely smoke-polluted atmosphere and compare them to the corresponding characteristics under the background conditions of the Western Siberia on the basis of empirical model of the vertical profiles of aerosol optical characteristics and methods of numerical simulation of solar radiative transfer.

The input parameters of the empirical model are the data on the angular scattering coefficient, mass concentration of absorbing substance («black carbon»), parameter of condensation activity, and aerosol particle size distribution function. Aircraft measurements in 1999–2011 were generalized to retrieve the vertical profiles of aerosol optical characteristics in the interval of 0.37–0.87 µm under background conditions. The optical characteristics of smoke aerosol were determined according to data of ground-based and aircraft measurements, performed onboard OPTIK Tu-134 aircraft laboratory (operated by Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences) in northeastern regions of Siberia (55–62° N, 83–130°E) along the route Mirny – Yakutsk – Bratsk – Novosibirsk in August 2012. The aerosol optical depths (AOD(0.55 µm)) in the background atmosphere and extreme smoke were 0.117 and 2.1; the column-averaged single scattering albedos (SSAs) were 0.94 and 0.88. Under the smoke conditions, the SSA value was lower than the average single scattering albedos, retrieved according to data of AERONET observations in boreal forest area (0.95–0.96).

An original algorithm of the Monte Carlo method was used to simulate the fluxes of upward and downward solar radiation (0.2–5.0 µm). The radiation calculations were performed for the astronomic conditions of Tomsk, corresponding to July 15, at an interval of 0.5 hour. The numerical simulation of diurnal values of radiative characteristics gave the following results. Under the background conditions, amount of energy absorbed in the 1-km atmospheric layer (up to 7 km) is determined by the stratification of water vapor concentration; the aerosol radiation effect does not exceed 10 % even in the lower 1-km layer. In the presence of optically dense strongly absorbing smoke, a dominating role in determining the absorption of solar radiation is played by aerosol particles with high «black carbon» content: the aerosol radiation effect is tens of a percent, and, depending on AOD, it reaches 50–80 % in the layer of 3–4 km. The vertical profiles of aerosol extinction and absorption coefficients and absorbed radiation correlate among themselves and reach the largest values in the middle part of the smoke layer. A detailed analysis shows that absorption maximum is positioned higher (3–4 km) than the positions of maximal values of extinction and absorption coefficients (2–3 km), primarily because above the level $z = 3$ km there is a dense smoke, which decreases the flux of total solar radiation at the top boundary of underlying atmospheric layers. The largest change in temperature is observed in the middle part of the smoke layer, where the heating rates are 2.5°K/day at AOD(0.55 µm) = 2, increasing to 5.5°K/day at AOD(0.55 µm) = 4. The surface-adjacent atmospheric layers are heated weaker, especially at morning and evening hours. In the work, we present parameterizations of the deficit of diurnal values of total solar radiation at the surface level, as well as aerosol radiation effect at the top and bottom of the atmosphere and in the atmospheric column when AOD varies from 0.5 to 4.

This work was supported in part by the Complex Program of Basic Research, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (program no. II.2P “Integration and development”, project II.2P/IX.135-10).

Оптико-микрофизические характеристики и радиационные эффекты антропогенных смогов и дымового аэрозоля

Горчаков Г.И. (gengor@ifaran.ru), Ситнов С.А., Карпов А.В., Горчакова И.А., Гущин Р.А., Даценко О.И.

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

Дымная мгла и антропогенные смоги приводят к радикальным изменениям радиационного режима атмосферы. Крупномасштабная дымная мгла наблюдалась на европейской территории России в 1972, 2002 и 2010 гг. [1, 2] во время массовых лесных пожаров. Причиной крупномасштабной дымной мглы на ЕТР и соседних территориях в июле 2016 г. был дальний перенос дыма из Сибири [3]. Согласно данным измерений в Томске и данным AERONET оптические и микрофизические характеристики дымового аэрозоля (ДА) в июле 2016 г. были близки к характеристикам ДА при задымлении ЕТР летом 2010 г. [2]. Однако с увеличением дальности переноса ДА вероятность обнаружения слабо поглощающего аэрозоля возрастала (когда альбедо однократного рассеяния превышало 0.96). Следует предполагать, что объемная доля черного углерода в частицах ДА постепенно снижается в процессе его старения.

Были проанализированы вариации аэрозольной оптической толщины (АОТ) в условиях дымной мглы в июле 2016 г. Рассчитаны статистические характеристики вариаций АОТ. Выполнено исследование радиационного режима задымленной атмосферы. Получены оценки радиационного форсинга ДА на верхней и нижней границах атмосферы. Так, например, средний аэрозольный радиационный форсинг на верхней границе атмосферы 24.07.2017 был равен – 29 Вт/м^2, а на нижней границе атмосферы составлял – 54 Вт/м^2. Проанализировано загрязнение атмосферы в московском регионе во время дымной мглы в июле 2016 г. Обсуждается соотношение между массовой концентрацией аэрозоля и концентрацией угарного газа в задымленной атмосфере. Сопоставлены особенности задымленной атмосферы в 2010 и 2016 гг.

Кратко охарактеризованы оптические и микрофизические характеристики аэрозоля в антропогенных смогах по данным AERONET. Проанализированы вариации аэрозольной оптической толщины. Микроструктура аэрозоля в смогах сопоставлена с микроструктурой ДА. Охарактеризованы смоги на Северной Китайской равнине, включая наблюдаемые вариации аэрозольной оптической толщины и радиационного режима атмосферы. Изучены вариации спектров поглощения ДА и смогов при наличии в частицах аэрозоля коричневого углерода. Предложена аппроксимация спектров поглощения в дымной мгле и смогах. Показано, что в некоторых случаях спектры поглощения аппроксимируются экспонентами.

Работа поддержана РНФ (грант № 14-47-00049).

1. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А. и др. Исследование состава задымленной атмосферы Москвы во время пожаров нефтяников летом – осенью 2002 г. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т.40, № 3. С. 366–380.
2. Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г. и др. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля задымленной атмосферы Московского региона в 2010 г. // Доклады АН. 2011. Т. 437, №5. С. 687–690.
3. Ситнов С.А., РАН Мохов И.И., Горчаков Г.И. Связь задымления атмосферы европейской территорий России летом 2016 года с лесными пожарами в Сибири и аномалиями атмосферной циркуляции // Доклады АН. 2017. Т. 472, № 4. С. 456–461.

Optical-microphysical charactereristics and radiative impact of anthropogenic smogs and smoke aerosol

G.I. Gorchakov (gengor@ifaran.ru), S.A. Sitnov, A.V. Karpov, I.A. Gorchakova, R.A. Gushchin, O.I. Datsenko

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

Smoke hazes and anthropogenic smogs bring to drastic changes of transfer radiation in the atmosphere. Large-scale smoke hazes took place on European part of Russia (EPA) in 1972, 2002 and 2010 years [1, 2] during mass forests fires. The reason of large-scale smoke hazes on EPA and adjacent territories in July 2016 was the long-range transfer smoke from Siberia [3]. According to the measurement data in Tomsk and AERONET data, optical and microphysical characteristics of the smoke aerosol in July 2016 were close to smoke aerosol characteristics in summer 2010 [2]. However with increasing of transfer distance, the detection probability of slightly absorbing smoke aerosol (SA) growed (when single scattering albedo was more than 0.96). It is should be suggested that volume fraction of black carbon in smoke aerosol particle during SA aging is lowered progressively.

Aerosol optical thickness (AOT) distribution for smoke haze over EPR in July 2016 has been analyzed. Statistical characteristics of AOT were calculated. Radiative impact of SA at EPR was studied. Aerosol radiative forcings at the top and the bottom boundary of the atmosphere were evaluated. For example, the average aerosol radiative forcing at the top of the atmosphere 24.07.2016 was equal – 29 W/m2, while that at the bottom of the atmosphere was – 54 W/m2. Air pollution variations in Moscow region during smoke haze in July 2016 were analysed. Relation between aerosol mass concentration and carbon monoxide concentration is discussed. Smoke haze 2016 peculiarities in comparison with smoke haze 2010 are summarized briefly.

Optical and microphysical charactereristics of aerosol in the anthropogenic smogs (AS) are outlined using AERONET data. AOT variation during AS are studied. Aerosol microstructure of SA was compared with aerosol microstructure of AS. Smokes on Northern China Plain are outlined including AOT variations and aerosol radiative impact. Investigation of absorption spectrum variations of SA and AS when aerosol particles contain brown carbon is presented. Absorption spectrum approximations for AS and SA are suggested. It is shown that some absorption spectra for SA can be approximated by exponents.

This work is supported by Russian Science Foundation (grant № 14-14-00049).

1. Gorchakov G.I., Anikin P.P., Volokh A.A., et al. Studies of the Smoky Atmosphere Composition over Moscow during Peatbog Fires in the Summer–Fall Season of 2002 // Izv. Atm. Oceanic Physics. 2004. V. 40, No 3. P. 332–336.
2. 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 // Doklady Earth Sciences. 2011. V. 437, No 2. P. 513–517.
3. Sitnov S.A., Mokhov I.I., Gorchakov G.I. The Link between Smoke Blanketing of European Russia in Summer 2016, Siberian Wildfires and Anomalies of Large-Scale Atmospheric Circulation // Doklady Earth Sciences. 2017. V. 472, No 2. P. 190–195.

Дистанционный мониторинг газового состава атмосферы

Тимофеев Ю.М. (y.timofeev@spbu.ru)

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

Газовый состав атмосферы играет важную роль в различных физических и химических процессах в атмосферах планет. Например, парниковый эффект за счет атмосферных газов может достигать десятков и сотен градусов. Стабильность озонного слоя в атмосфере Земли в существенной степени зависит от присутствия окислов азота и галогеносодержащих газов. Наконец, проблема комфортного существования человечества и биосферы зависит от концентраций токсичных газов в нижней тропосфере. Именно по этим причинам, а также

ряду других в последние десятилетия проводятся интенсивные исследования пространственно-временных вариаций многих атмосферных газов, а также их долговременных трендов. Наибольшее количество информации о газовом составе в настоящее время получается с помощью наземных и спутниковых методов, причем до 70–80 % этой информации поступает за счет различных дистанционных измерений.

Дается краткая информация о современной классификации различных дистанционных методов (пассивных и активных), а также о их преимуществах и недостатках. Рассмотрены различные наземные и спутниковые системы мониторинга газового состава. Эти измерения используются для следующих исследований:

– изучение временных вариаций различных газов, в том числе долговременных трендов;

– мониторинг пространственных полей различных газов и изучение динамики атмосферы;

– изучение газовых загрязнений в мегаполисах и промышленных районах;

– сравнение измерений с результатами численного моделирования и усовершенствование моделей;

– оценка интенсивности эмиссий различных газов;

– сравнение различных дистанционных методов и определение их погрешностей;

– валидация различных спутниковых измерений.

Обширная система оперативных и научно-исследовательских спутников позволила получить огромное количество информации о газовом составе, прежде всего, стратосферы и мезосферы. В последние годы особое внимание уделяется исследованиям газового состава тропосферы. Такие спутниковые приборы как MOPITT, TANSO-FTS, OCO-2 и т.д. позволяют получать огромное количество информации о различных парниковых и химически активных газов с различным пространственным разрешением и периодичностью. В ESA и NASA реализуются новые программы мониторинга газового состава атмосферы. Приведены примеры использования спутниковых измерений российского прибора ИКФС-2 для изучения существенного снижения содержания озона над Россией зимой 2015–2016 гг.

Рассмотрены наземные измерения газового состава атмосферы в Петергофе (СПбГУ). Они включают измерения приземных концентраций различных газов локальными методами, спектроскопические измерения по прямому и рассеянному солнечному излучению в УФ, видимой, БИК и ИК областях спектра, МКВ измерения собственного излучения атмосферы, GPS измерения и т.д. Приводятся многочисленные примеры результатов проведенных исследований.

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ "Геомодель", при поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00096 – измерения МГС атмосферы).

Remote sensing of the gas composition of the atmosphere

Yu.M. Timofeev (y.timofeev@spbu.ru)

Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

The gas composition of the atmosphere plays an important role in various physical and chemical processes in the atmospheres of planets. For example, greenhouse effect due to atmospheric gases can reach tens and hundreds of degrees. Stability of atmospheric ozonic layer depends in essential degree on presence of nitrogen oxides and halogen containing gases. At last, the problem of comfortable existence of mankind and the biosphere depends on concentration of toxic gases in the lower troposphere. For these reasons, and also some others, in the last decades intensive studies of spatial-temporal variations of many atmospheric gases, and also their long-term trends are conducted. Nowdays, the greatest number of information on gas structure turns out by means of ground-based and satellite methods, and to 70–80% of this information arrives due to various remote measurements.

Summary of modern classification of various remote methods (passive and active), and also on their advantages and shortcomings is given. Various ground-based and satellite systems of monitoring the gas structure are considered. These measurements are used for the following:

– studying of temporary variations of various gases, including long-term trends;

– monitoring of spatial fields of various gases and studying of atmospheric dynamics;

– studying of gas pollution in megalopolises and industrial regions;

– comparison of measurements with results of numerical modeling and improvement of models;

– assessment of intensity of emissions of various gases;

– comparison of various remote methods and estimation of their errors;

– validation of various satellite measurements.

The extensive system of operative and research satellites has allowed to receiving the huge amount of information on gas composition, first of all, of a stratosphere and mesosphere. In recent years the special attention is paid to studying the tropospheric gas composition. Such satellite devices as MOPITT, TANSO-FTS, OCO-2, etc. allow to receiving the huge amount of information on various greenhouse and chemically-active gases with various spatial resolution and periodicity. In ESA and NASA new programs for monitoring the gas composition of the atmosphere are implemented. Examples of the use of satellite IRFS-2 measurements for studying of essential ozone depletion over Russia in the winter of 2015–2016 are given.

Ground-based measurements of gas composition over Peterhof (St. Petersburg State University) are considered. They include measurements of ground concentration of various gases by local methods, spectroscopic measurements using direct and scattered solar radiation in UV, visible, near-IR and IR spectral ranges, MW measurements of thermal atmospheric radiation, GPS-measurements, etc. Numerous examples of such studies are given.

The study was carried out using equipment of the Center for Geo-Environmental Research and Modeling (GEOMODEL) of the Research park of St. Petersburg State University, and supported by Russian Science Foundation (project 14-17-00096 – measurements of trace gases).

Current understanding of the thermosphere-ionosphere system response to sudden stratospheric warmings

M.V. Klimenko[1,2] (maksim.klimenko@mail.ru), V.V. Klimenko[1], F.S. Bessarab[1], Yu.N. Korenkov[1], K.G. Ratovsky[3], I.E. Zakharenkova[1], E.V. Rozanov[1,4,5], and D.V. Kulyamin[6]

[1]*West Department of Pushkov IZMIRAN RAS, 41 Pobeda av., 236017 Kaliningrad, Russia*

[2]*Immanuel Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevsky str., 236041 Kaliningrad, Russia*

[3]*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126a Lermontov str., 664033 Irkutsk, Russia*

[4]*Institute for Atmospheric and Climate Science, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 16 Universitaetstrasse, 8092 Zurich, Switzerland*

[5]*Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos World Radiation Centre, 33 Dorfstrasse, 7260 Davos Dorf, Switzerland*

[6]*Research Computer Center M.V. Lomonosov Moscow State University, 1, b.4 Leninskiye Gory, 119991 Moscow, Russia*

The vertical coupling in the atmosphere/thermosphere/ionosphere system is a very important for the ionospheric forecast and understanding of the upper atmosphere behavior. Some mechanisms behind the vertical coupling have been already identified, but detailed characterization and deep understanding of the physical processes responsible for the appearance of disturbances in the thermosphere-ionosphere system for any particular event are still missing. Sudden Stratospheric Warming (SSW) is a large meteorological event that is associated with global anomalies in various atmospheric layers from the troposphere and stratosphere to the mesosphere and lower thermosphere.

To examine the validity and importance of every suggested mechanisms of the upper atmosphere response to SSW events it is necessary to perform theoretical investigations using a global coupled model that includes the thermosphere-ionosphere system. Multiple attempts of such

investigations have been made during the last ten years using different models and various additional techniques (assimilation, nudges, etc.). However, the generation mechanisms of the low latitude zonal electric field disturbances during SSW event and necessary improvements of the atmosphere–ionosphere system models to reproduce such electric fields remain undefined. In addition, the global thermospheric/ionospheric dynamics is not completely reproduced in the model studies due to the lack of understanding about the correct source of disturbances at mesosphere heights during SSW event.

This study was supported by the Russian Science Foundation under contract 17-17-01060.

The application of satellite atmospheric profile retrievals to weather prediction

W. Smith Sr.[1,2] (bill.l.smith@cox.net), A. Larar[3], H. Revercomb[2], J. Taylor[3], E. Weisz[2]
[1]*Department of Atmospheric and Planetary Sciences, Hampton University, Hampton VA 23668 USA*
[2]*Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin, Madison WI 53706 USA*
[3]*NASA Langley Research Center, Hampton VA, 23680 USA*

Satellite Fourier Transform Spectrometer (FTS) infrared radiance measurements are an important data input to Numerical Weather Prediction (NWP) models. In fact NWP centers claim that these data have the largest positive impact on NWP, relative to other forms of weather observations. The operational IASI and CrIS FTS instruments aboard the MetOp-A/B and Suomi-NPP satellites, respectively, provide a broad spatial coverage (~ 2200 km, in the cross track direction) of radiance spectra from which the atmospheric thermodynamic and chemistry structure of the atmosphere can be defined. However, only very limited amounts of the spatial and spectral radiance data are assimilated by NWP centers because of computational resource limitations. It is suggested here that by assimilating atmospheric profiles retrieved from the entire spectrum of radiance measurements, which are constrained to be consistent with the vertical and horizontal resolution as the NWP model forecast background, will provide significant improvements in numerical weather forecast accuracy. Furthermore, it is shown with very high spatial and spectral resolution aircraft FTS measurements can be used to validate the satellite results. Finally, The capability of satellite FTS measurements to be used to detect decadal climate trends is illustrated using a climate model 100-year CO_2 doubling experiment simulation. Comparisons of the spatial distribution of atmospheric temperature trends obtained with MetOp satellite IASI FTS measurements with those obtained by the model simulation support the hypotheses that the Earth's climate warming is related to global increases in CO_2.

Современное состояние и перспективы развития отечественных спутниковых наблюдательных систем гидрометеорологического и океанографического назначения

Асмус В.В.[1] (asmus@planet.iitp.ru), Кровотынцев В.А.[1], Лемешевский С.А.[2], Макриденко Л.А.[3], Милехин О.Е.[1], Соловьев В.И.[1], Успенский А.Б.[1] (uspensky@planet.iitp.ru)
[1]*Научно-исследовательский центр "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия*
[2]*Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, ул Ленинградская 24, 141400 Химки, Московская обл., Россия*
[3]*ОАО "Корпорация "ВНИИЭМ", Хоромный тупик 4/1, 107078 Москва, Россия*

В соответствии с Федеральной космической программой России 2016–2025 гг. Роскосмосом (ВНИИЭМ, НПО им. С.А. Лавочкина) и Росгидрометом (НИЦ "Планета"), ведется создание гидрометеорологических космических комплексов (КК) "Метеор-3М", "Электро-Л", "Арктика-М". КК "МЕТЕОР-3М" должен включать четыре однотипных космических аппарата (КА) гидрометеорологического назначения и один специализированный океанографический КА на солнечно-синхронных орбитах (разработчик ВНИИЭМ).

Приведены результаты эксплуатации входящего в КК "Метеор-3М" КА "Метеор-М" N 2 (запущен в июле 2014 г.). КК "Электро-Л" (разработчик НПО им. С.А. Лавочкина) должен состоять из трех КА на геосинхронных орбитах. В докладе даны общие сведения о полезной нагрузке, результатах летных испытаний и эксплуатации КА "Электро-Л" N 2 (запущен в декабре 2015 г.). Будущий КК "Арктика-М" должен включать два КА на высокоэллиптических орбитах типа "Молния" с полезной нагрузкой, подобной КА серии "Электро-Л". Кратко описан наземный комплекс приема, обработки и распространения спутниковых данных в составе Европейского, Сибирского и Дальневосточного Центров ФГБУ "НИЦ "Планета. Начата разработка гидрометеорологических КК нового поколения МЕТЕОР-МП", "Электро-М". Выполнен сравнительный анализ информационных характеристик бортовой целевой аппаратуры КК "Метеор-3М" и "Метеор-МП", КК "Электро-Л" и "Электро-М", а также сравнение с зарубежными гидрометеорологическими КК (Metop, Metop –NG, Suomi-NPP, MSG, MTG).

Current state and prospects of Russian space-based Hydrometeorological observing systems

V. Asmus[1] (asmus@planet.iitp.ru), V. Krovotyntsev[1], S. Lemeshevsky[2], L. Makridenko[3], O. Milekhin[1], V. Solovjev[1], A. Uspensky[1] (uspensky@planet.iitp.ru)

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

[2]*S.A. Lavochkin Science and Production Association, 24 Leningradskaya str., 141400 Khimki Moscow Region, Russia*

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

In accordance with Russian Federal Space Program 2016–2025 Roskosmos (VNIIEM Corporation, Lavochkin Association) and Roshydromet (SRC Planeta) jointly develop various satellite hydrometeorological systems, such as Meteor-3M, Electro-L, Arctica-M. Four meteorological (of the same type) and one oceanographical satellite on sun-synchronous orbits should compose the Meteor-3M system (manufacturer – VNIIEM Corporation).

The results of Meteor N2 (launched in 2014 as part of the Meteor-3M system) exploitation are briefly discussed. The system Electro-L (manufacturer – Lavochkin Association) should comprise of 3 similar geostationary meteorological satellites. Core meteorological payload of Electro-L system is briefly described together with the results of Electro-L N2 (launched in December 2015) commissioning phase. Oncoming Arctica-M constellation is to be comprised of 2 HEO spacecrafts on "Molnya" type high elliptical orbits (manufacturer – Lavochkin Association). The design and payload of these and Electro-L series satellites are generally similar. As part of presentation a status update of Roshydromet ground segment is outlined. It consists of three SRC Planeta regional centers (European, Siberian and Far-Eastern) responsible for the acquisition, processing and distribution of satellite data and products. The work continues on the development of the New Generation hydrometeorological satellites, namely Meteor-MP and Electro-M constellations. A comparison is given of basic instruments performance characteristics relating to Meteor-MP vs Meteor-3M and Electro-M vs Electro-L. Moreover the comparison is made with analogous payload of Metop, Metop-SG, MTG satellites.

Международные соглашения по климату: от Киото до Парижа

Кароль И.Л. (karol@main.mgo.rssi.ru), Киселев А.А.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Дана ретроспектива международных соглашений по климату. Представлены сравнительные оценки и анализ положений Киотского и Парижского соглашений. Указаны доли крупнейших национальных экономик в суммарной эмиссии парниковых газов на момент принятия Парижского соглашения. Обсуждается правомерность выбора величины, равной двум градусам, в качестве порогового значения прироста температуры относительно доиндустриального уровня 1750 г.

Показаны результаты модельных расчётов размера эмиссии CO_2, необходимого для того, чтобы потепление не превысило пороговых значений. Высказывается сомнение в том, что предлагаемые в Парижском соглашении подходы, направленные на решение глобальной задачи – противоборства глобальному потеплению (постепенное замещение выбросов парниковых газов в атмосферу экологически чистыми источниками энергии), – окажутся эффективными. Представлен краткий обзор вклада возобновляемых источников энергии в общий её объём в мире и в России. Рассмотрены оценки эффекта от альтернативных мер – сокращения эмиссии короткоживущих климатических загрязнителей (аэрозолей, «чёрного углерода», гидрофторуглеродов и др.) – на климат. Сделан вывод о том, что такое сокращение способно позитивно отразиться на локальном климате в течение ограниченного промежутка времени, но не может оказать сколь-нибудь заметного влияния на климат в глобальном масштабе.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00926.

The international agreements on climate: from Kyoto to Paris

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

The retrospective of the international agreements on climate is presented and discussed in short terms. The Kyoto and Paris statements are evaluated and compared. The contributions of the principal national economics to the total greenhouse gas emission before the Paris document acceptance are indicated. The legitimacy of 2° C temperature increase threshold (relative to preindustrial level of 1750) is discussed.

The model estimations of CO_2 emission which is necessary so that global warming does not exceed above threshold are presented. Some doubts exist that the steps to mitigate the global warming (by the gradual substitution of the greenhouse gas releases into the atmosphere from the renewable energy sources) would be efficient enough. A bounded review of the short lived climatic pollutant (various aerosols, black carbon, hydrofluorocarbons and others) releases in the world and in Russia are considered too. These are able to affect the local climate for some bounded period of time, but not the global climate.

This study is supported by the Russian Basic Research Foundation (Grant 16 - 05 - 00926).

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр ИКФС-2: три года эксплуатации на орбите

Завелевич Ф.С.[1], Головин Ю.М.[1], Никулин А.Г.[1], Козлов Д.А.[1] (dima_kozlov@mail.ru), Монахов Д.О.[1], Козлов И.А.[1], Черкашин И.С.[1], Успенский А.Б.[2], Рублев А.Н.[2], Кухарский А.В.[2]

[1]ГНЦ «Центр Келдыша», ул. Онежская 8, 125438 Москва, Россия
[2]НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Бортовой инфракрасный фурье-спектрометр температурного и влажностного зондирования ИКФС-2 предназначен для измерения спектров исходящего излучения атмосферы Земли и решения на их основе оперативных задач гидрометеорологического обеспечения. Аппаратура ИКФС-2 обеспечивает формирование спектров атмосферы Земли и подстилающей поверхности в диапазоне спектра от 5 до 15 мкм (от 660 до 2000 см$^{-1}$) со спектральным разрешением 0.4 см$^{-1}$ в полосе обзора до 2500 км с пространственным разрешением в надире 30 км. Запуск космического аппарата (КА) «Метеор-М» № 2 с фурье-спектрометром ИКФС-2 состоялся 8 июля 2014 г. К настоящему времени прибор ИКФС-2 функционирует на орбите в штатном режиме уже в течение трех лет. За время эксплуатации отмечается стабильная работа механизма перемещения уголковых отражателей, механизма сканирования по полосе обзора, а также стабильное тепловое состояние прибора. Снижение скорости образования криоосадка на холодном окне фотоприемника позволило перейти на режим дегазации радиационного холодильника 1 раз в месяц.

Результаты сопоставления с данными независимых спутниковых измерений (радиометр SEVIRI и фурье-спектрометр IASI) свидетельствуют о надлежащем качестве калибровки аппаратуры. Так, погрешность спектральной привязки измерений к шкале волновых чисел не превышает $2\cdot10^{-6}$, а погрешность привязки измерений к абсолютной энергетической шкале составляет не более 0.3 К.

Spaceborne Infrared Fourier-Transform Spectrometer IKFS-2: three years on orbit

F. Zavelevich[1], Yu. Golovin[1], A. Nikulin[1], D. Kozlov[1] (dima_kozlov@mail.ru), D. Monakhov[1], I. Kozlov[1], I. Cherkashin[1], A. Uspensky[2], A. Rublev[2], A. Kukharsky[2]

[1]Keldysh Research Center, 8 Onezhskaya, 125438 Moscow, Russia
[2]State Research Center of Space Hydrometeorology “Planeta”, 7 B.Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

The spaceborne infrared Fourier-transform spectrometer IKFS-2 is dedicated to temperature and humidity sounding of the atmosphere for hydrometeorological needs. The instrument provides measurements of the atmosphere spectra in the spectral range of 5–15 μm (660–2000 cm^{-1}) with spectral resolution of 0.4 cm^{-1} (unapodized), swath width of 1000–2500 km and instantaneous FOV of 30 km (for nadir). The IKFS-2 instrument, embarked on Meteor-M2 satellite, was launched on

July 8, 2014 on a Soyuz rocket from Baikonur, Kazakhstan. At present, IKFS-2 is already operating on orbit in the regular mode for three years. During that period operation of the corner cube mechanism, the cross-track scanning mechanism as well as the thermal state of the instrument are stable. The decrease of the ice contamination rate on the photodetector cold window made it possible to perform degassing of the radiator once a month.

The results of the comparison with the independent satellite measurements (the SEVIRI scanning radiometer and the IASI spectrometer) indicate the proper quality of the IKFS-2 calibration: spectral calibration uncertainty does not exceed $2 \cdot 10^{-6}$ and the absolute radiometric calibration uncertainty is no more than 0.3 K in (660–1400) cm^{-1} spectral range.

Remote sensing of the Earth's atmosphere in limb viewing geometry: recent developments at the University of Bremen

A. Rozanov (Alexei.Rozanov@iup.physik.uni-bremen.de), C. Arosio, E. Malinina, K. Weigel, V. Rozanov, H. Bovensman and J.P. Burrows

Institute of Environmental Physics, University of Bremen, P.O. Box 33 04 40, D-28334 Bremen, Germany

Measurements of the scattered solar radiation from space borne instruments in limb viewing geometry have a large potential for the remote sensing of the Earth's atmosphere combining a relatively high vertical resolution with a dense spatial sampling. In the past decades a comprehensive radiative transfer model SCIATRAN and a diversity of retrieval algorithms based on this model have been developed by the scientific team at the University of Bremen to retrieve the vertical distribution of atmospheric compounds (O_3, NO_2, H_2O, BrO, OClO, Na, Mg, Mg+, aerosols, clouds) from the measurements of the scattered solar radiation in UV-Vis-NIR-SWIR spectral range performed by the SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartographY) instrument in limb viewing geometry. Despite the fact that almost 10 years measurement from the SCIAMACHY instrument, which ceased its operation in April 2012, is still a valuable data set to investigate the chemistry and dynamics of the atmosphere, new sources of information have to be established to monitor the state of the atmosphere in the future. The only one new instrument currently operating in the limb viewing geometry is NASA's OMPS on Soumi-NPP satellite launched in October 2011. For this mission several successor instruments with the same design have already been planned for launch in the future.

This study reports recent developments in the retrieval of atmospheric constituents from SCIAMACHY instruments done at the University of Bremen and overviews the work in progress on transferring the SCIAMACHY algorithms for use with OMPS data. Main focus of the presentation is put on the progress in O_3, H_2O, and aerosol parameter retrievals.

Характеристики высотных струйных течений по данным спутниковых измерений и их связь с изменениями климата

Нерушев А.Ф. (nerushev@rpatyphoon.ru), Вишератин К.Н., Ивангородский Р.В.

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

Высотные струйные течения – неотъемлемый и очень важный элемент общей циркуляции атмосферы. В них сосредоточена основная кинетическая энергия воздушной оболочки Земли. Наблюдаемые в верхней тропосфере и стратосфере Северного и Южного полушарий высотные струйные течения оказывают существенное влияние на характеристики атмосферы и происходящие в ней процессы. С ними связывают проявление некоторых аномальных погодных явлений. Струйные течения, как существенный элемент общей циркуляции атмосферы, должны испытывать влияние глобальных изменений климатической системы Земли, а также оказывать определенное воздействие на погодные процессы. Удобным инструментом получения информации о струйных течениях и

определения их характеристик является зондирование атмосферы с геостационарных метеорологических спутников.

В работе представлены результаты исследования пространственно-временной изменчивости основных характеристик струйных течений верхней тропосферы Северного и Южного полушарий в зоне обзора европейских геостационарных метеорологических спутников за десятилетний период (2007–2016 гг.). Исходной информацией служили данные зондирования атмосферы с временным интервалом 15 мин. в канале водяного пара 6.2 мкм радиометром SEVIRI европейских геостационарных метеорологических спутников второго поколения. Струйные течения определялись с шагом по времени 1 час на основе автоматизированного метода вычисления поля скорости горизонтального ветра в верхней тропосфере по перемещениям атмосферных трассеров – неоднородностей концентрации водяного пара. Для выявления основных закономерностей временной и пространственной изменчивости характеристик струйных течений использованы методы регрессионного, корреляционного, спектрального и вейвлетного анализов.

Детально рассмотрена межгодовая изменчивость основных характеристик струйных течений (средней площади, максимальной скорости ветра, географического положения центра струйного течения, градиентов (сдвигов) скорости ветра и др.), а также их годовой ход. Выявлены общие закономерности и существенные различия характеристик в Северном и Южном полушариях. Показано, что знаки линейных трендов межгодовой изменчивости характеристик струйных течений за рассматриваемый 10-летний промежуток времени в обоих полушариях в основном одинаковы, в то время как величины значимых трендов большинства характеристик в Южном полушарии существенно (в разы) больше. Все характеристики струйных течений в обоих полушариях испытывают существенные сезонные вариации, при этом их амплитуда для большинства характеристик больше в Южном полушарии. В амплитудных спектрах и вейвлетограммах временных рядов большинства среднесуточных и среднемесячных характеристик струйных течений наблюдаются устойчивые годовые и полугодовые гармонические колебания. Исследована связь характеристик струйных течений с рядом климатических параметров. В частности, выявлена значимая корреляция отдельных характеристик струйных течений Северного и Южного полушарий с площадью арктического и антарктического льда соответственно.

Characteristics of high-altitude jet fluxes inferred from the satellite measurement data and their connection with climate changes

A.F. Nerushev (nerushev@rpatyphoon.ru), K.N. Visheratin, R.V. Ivangorodsky
Research and Production Association «Typhoon», Pobedy str. 4, 249038 Obninsk, Russia

High-altitude jet fluxes are integral and very important elements of the atmospheric general circulation. They concentrate the basic kinetic energy of the Earth's air envelope. The high-altitude jet fluxes observed in the upper troposphere and stratosphere of the Northern and Southern Hemispheres significantly affect the characteristics of the atmosphere and the processes it undergoes. Some anomalous weather processes are connected with them. Jet fluxes, as significant elements of the atmospheric general circulation, should undergo the effect of global changes in the Earth climatic system and influence the weather as well. A suitable tool for obtaining information on jet fluxes and determining their characteristics is sounding of the atmosphere from geostationary meteorological satellites.

The paper presents the investigation results of spatiotemporal variability of jet fluxes basic characteristics in the upper troposphere of the Northern and Southern hemispheres in the surveillance zone of the European geostationary meteorological satellites obtained during the ten-year period (2007–2016). The data of atmospheric soundings made in the 6.2 μm water vapor channel with a temporal interval of 15 minutes with the radiometer SEVIRI of the European geostationary meteorological satellites of the second generation were the initial information source. The jet fluxes were determined with a 1-hour time step on the basis of an automatically controlled

computation method for the horizontal wind field in the upper troposphere according to the motion of atmospheric tracers – heterogeneities of water vapor concentrations. To reveal the main laws of temporal and spatial variability of jet fluxes characteristics variability the methods of regression, correlation, spectral and wavelet analyses were used.

The interannual variability of jet fluxes basic characteristics (average surface area, maximum wind speed, geographic location of jet flux centers, gradients (shifts) of wind speed, etc.) along with their annual course were considered in detail. General regularities and significant differences of the characteristics in the Northern and Southern hemispheres were found. It is shown that the signs of the linear trends in the interannual variability of jet fluxes characteristics during the 10-year time interval considered were basically the same in both hemispheres, but the values of significant trends of the major characteristics in the Southern hemisphere were considerably (by times) higher. All the characteristics of jet fluxes in both hemispheres undergo significant seasonal variations, their amplitudes being for the majority of the characteristics higher in the Southern hemisphere. In the amplitude spectra and waveletograms of temporal series of the majority of mean daily and mean monthly characteristics of jet fluxes stable annual and semiannual harmonic oscillations are observed. The connection of jet flux characteristics with a series of climatic parameters was studied. In particular, a significant correlation of jet fluxes several characteristics of the Northern and Southern hemispheres with the surface area of the Arctic and Antarctic ice cover respectively was found.

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

Рублев А.Н.[1] (rublev@planet.iitp.ru), Голомолзин В.В.[1], Успенский А.Б.[1], Панов А.В.[2], Прокушкин А.С.[2]

[1]НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия
[2]Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Академгородок 50 стр. 28, 660036 Красноярск, Россия

Успешное функционирование на орбите с 2014 г. российского гидрометеорологического спутника «Метеор-М» №2 позволило разработать новый способ определения концентрации углекислого газа. Способ основан на использовании измерений фурье-спектрометра ИКФС-2 и сканера МСУ-МР, входящих в состав бортовой целевой аппаратуры спутника, совместно с вертикальным профилем температуры, получаемым из данных прогноза погоды NCEP NOAA. В отличие от известных схем восстановления, разработанный подход основан на нахождении эффективных спектральных оптических толщин (ЭОТ) CO_2, рассчитанных в нескольких каналах ИКФС-2 в районе 13.5 мкм и приведенных к нормальному давлению. Оптимальный выбор каналов ИКФС-2 и соответствие между ЭОТ и количеством молекул CO_2 в атмосферном слое был сделан с помощью известной модели радиационного переноса LBLRTM. Концентрация углекислого газа XCO_2 находится как линейная комбинация ЭОТ.

Для отработки способа и его валидации использовалось сопоставление спутниковых оценок XCO_2 с данными натурных измерений в Центральной Сибири (Средне-Енисейский стационар Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, обсерватория высотной мачты «ZOTTO»), которые проводятся постоянно на 6 измерительных площадках мачты в приземном (от 0 до 300 м) слое атмосферы. Для сравнения со спутниковыми оценками отбирались данные наземных измерений в условиях конвективного перемешивания тропосферы, когда устанавливалось примерное равенство концентраций, измеренных на всех площадках мачты.

CO_2 retrieval from METEOR-M #2 satellite measurements

A.N. Rublev[1] (rublev@planet.iitp.ru), V.V. Golomolzin[1], A.B. Uspensky[1], A.V. Panov[2], A.S. Prokushkin[2]

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

[2]*V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, 50 Akademgorodok, 660036 Krasnoyarsk, Russia*

The successful operation of the Russian meteorological Meteor-M No. 2 satellite on orbit since 2014 has made it possible to develop a new method to retrieve the concentration of carbon dioxide. The method is based on the measurements of the IKFS-2 Fourier spectrometer and the MSU-MP scanner included in the satellite payload together with the vertical temperature profile obtained from the NCEP NOAA weather forecast data. Unlike the known determination schemes, the developed approach is based on finding the effective optical thicknesses (EOT) of CO_2 calculated in several channels of the IRFS-2 in the region of 13.5 μm and reduced to normal pressure. Optimal selection of the channels of the IRFS-2 and the correspondence between EOT and the number of CO_2 molecules in the atmospheric layer was made using the known LBLRTM radiative transfer model. The concentration of carbon dioxide XCO_2 is found as a linear combination of EOT.

Development and validation of the method was performed by comparison of XCO_2 satellite estimates with in situ measurements in Central Siberia (the Middle Yenisei Station of the Sukachev Institute, the ZOTTO Observatory of the high-altitude tower), which are conducted continuously at 6 measurement tower sites in the surface atmospheric layer (from 0 to 300 m). For comparison with satellite estimates, ground measurements were taken under convective mixing of the troposphere, when an approximate equality of the concentrations measured at all tower sites was established.

The joint methane retrieval from GOSAT SWIR and TIR spectra over Western Siberia

I.V. Zadvornykh[1] (i.zadvornykh@wsibiso.ru), K.G. Gribanov[1], V.I. Zakharov[1], R. Imasu[2]

[1]*Ural Federal University, Climate and Environmental Physics Laboratory, 51 Lenin ave., 620083 Yekaterinburg, Russia*

[2]*Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Japan*

Methane distribution in the Earth's atmosphere and its main sources and sinks localization are very important for climate change studies. Satellite measurements are one of the most effective approaches for monitoring the global distributions of greenhouse gases with high spatial and temporal resolution, as well as localization of its main sources and sinks. The modern spacecraft generation GOSAT/GOSAT-2 satellites with high resolution TANSO spectrometers on board are capable to carry out continuous measurements of outgoing radiation in thermal infrared (TIR) and short wavelength infrared (SWIR) spectral bands.

We developed and implemented into software package the joint methane vertical profiles retrieval with optimal estimation method from GOSAT SWIR and TIR spectra measured simultaneously. The modified software package FIRE-ARMS [1] with embedded VLIDORT [2] procedures was used as a forward model for spectra and Jacobian calculation in both TIR and SWIR bands using the same atmospheric model with the same vertical layering. Other additional procedures were added to extract data from HDF5-files, select spectra at cloudless conditions and build initial guess atmosphere model from NCEP/NCAR or ECMWF/ERA-Interim reanalysis data. The data of HIPPO experiment aircraft observations [3] together with MACC reanalysis [4] data were used for covariance matrices modeling. Results obtained from observations made in summer of 2016 over Western Siberia together with retrieval characterization in terms of a posterioiri covariance matrices and averaging kernels are discussed.

This study was supported by Act 211 Government of the Russian Federation (contract No. 02.A03.21.0006) and RFBR grants No. 16-51-50064 and No. 15-01-05984a.

1. Gribanov, K.G., Zakharov, V.I., Tashkun, S.A., Tyuterev, Vl.G. A New Software Tool for Radiative Transfer Calculations and its application to IMG/ADEOS data // J. Quant. Spectrosc. Rad. Tran. 2001. Vol. 68, No 4, doi: 10.1016/S0022-4073(00)00035-2, 2001.
2. Spurr, R.J.D. VLIDORT: A linearized pseudo-spherical vector discrete ordinate radiative transfer code for forward model and retrieval studies in multilayer multiple scattering media, J. Quant. Spectrosc // Radiat. Tran. 2006. Vol. 102, No 2, doi: 10.1016/j.jqsrt.2006.05.005.
3. Wofsy, S.C. HIAPER Pole-to-Pole Observations (HIPPO): fine-grained, global-scale measurements of climatically important atmospheric gases and aerosols // Phil. Trans. Royal Society A: Math., Phys. and Eng. Sci. 2011. Vol. 369, No 1943. P. 2073–2086, doi: 10.1098/rsta.2010.0313.
4. Massart, S., Agusti-Panareda, A., Aben, I., et al. Assimilation of atmospheric methane products into the MACC-II system: From SCIAMACHY to TANSO and IASI // Atm. Chem. and Phys. 2014. Vol. 14, No 12, doi: 10.5194/acp-14-6139-2014.

Методика и результаты определения общего содержания озона по спутниковым измерениям ИК излучения с борта ИСЗ «Метеор-М»

Гаркуша А.С.[1] (saniahome@mail.ru), Поляков А.В.[1] (a.v.polyakov@spbu.ru), Тимофеев Ю.М.[1], Виролайнен Я.А.[1], Кухарский А.В.[2]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия*
[2]*НИЦ "Планета"; Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия*

Предложена методика определения общего содержания озона (ОСО) по измерениям спектров уходящего теплового ИК излучения спутниковым прибором ИКФС-2 в присутствии облачности. Выполнено сопоставление результатов применения разработанной методики с независимыми данными. Показано, что отличия ОСО, восстановленных из спектральных измерений прибора ИКФС-2, от спутниковых (прибор OMI) и наземных (приборы Добсон, Брюер, М-124) данных, как правило, составляют 3–5 %. Наибольшие отличия (до 10 %) наблюдаются над Антарктидой при наблюдениях озоновой дыры в южных полярных широтах.

Показано, что с помощью предложенной методики по измерениям прибора ИКФС-2 зарегистрированы озонные мини-дыры над Россией, обнаруженные ранее другими методами в первом квартале 2016 года. При этом полученные нами данные измерений показывают почти 2-х кратное уменьшение ОСО в отдельные дни в этот период.

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ "Геомодель", при поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00096 – измерения МГС атмосферы).

Technique and results of retrieving the total ozone content using satellite IR measurements from «Meteor-M» № 2

A.S. Garkusha[1] (saniahome@mail.ru), A.V. Polyakov[1] (a.v.polyakov@spbu.ru), Yu.M. Timofeev[1], Ya.A. Virolainen[1], A.V. Kukharsky[2]
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*SRC “Planeta”, 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

Technique for retrieving the total ozone content (TOC) from spectra of outgoing thermal radiation measured by IRFS-2 from a board of the meteorological «Meteor-M» No. 2 satellite under cloudiness are developed. Comparison of TOCs retrieved using the developed technique with independent data is performed. It is shown that differences between TOCs retrieved from IRFS-2 spectral measurements and satellite (OMI device) and ground-based (Dobson, Brewer, M-124) data, as a rule, are 3–5 %. The greatest differences (up to 10 %) are observed over Antarctica in the presence of an ozone hole in the southern polar latitudes.

Using the developed technique and IRFS-2 mesurements, ozone mini-holes over Russia detected earlier by other methods in the first quarter 2016 were registered. In separate days during this period almost 2-fold TOC reduction was observed.

The study was carried out using equipment of the Center for Geo-Environmental Research and Modeling (GEOMODEL) of the Research park of St. Petersburg State University, and supported by Russian Science Foundation (project 14-17-00096).

Водяной пар в атмосфере над Гренландией и окружающими морями по измерениям микроволновых радиометров МТВЗА-ГЯ, AMSR2 и GMI

Митник Л.М. (lm_mitnik@mail.ru), Кулешов В.П., Митник М.Л.
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43, 690041 Владивосток, Россия

Большая площадь (более 2.1 млн. км^2), протяженность примерно от 60° с.ш. до 83.5° с.ш., постоянный ледяной покров толщиной до 2–3 км и высотой над уровнем моря до 3.5 км предопределяют разнообразие гидрометеорологических и климатических характеристик Гренландии и мощное влияние острова на циркуляцию и характеристики атмосферы Арктики. Отрицательный баланс материкового льда, ускорившийся в последнее десятилетие вследствие потепления, вносит все возрастающий вклад в повышение уровня Мирового океана. Изучению метеорологических условий на поверхности и в атмосфере Гренландии, синоптическим процессам и морским льдам вокруг острова посвящены многочисленные статьи, экспериментальной основой которых служат наземные метеорологические и радиозондовые измерения, данные самолетного и спутникового дистанционного зондирования в различных диапазонах длин волн.

В работе основное внимание уделено влажности атмосферы над Гренландией и окружающими морями. Различные характеристикам влажности были восстановлены из измерений многоканальных микроволновых (МВ) сканирующих радиометров МТВЗА-ГЯ со спутника Метеор-М №2 (Россия), AMSR2 со спутника GCOM-W1 (Япония) и GMI со спутника GPM (США, Япония) на частотах ν от 6.9 ГГц (AMSR2) до (183.31 ± 7.0) ГГц (МТВЗА-ГЯ) на вертикальной (в) и/или горизонтальной (г) поляризациях. Все радиометры сканируют Землю по конусу в полосе, ширина которой составляет 885 км для GMI и 1500 км для AMSR2 и МТВЗА-ГЯ. МВ зондирование со спутника Метеор-М № 2 выполняется с августа 2014 г. Сезонные и синоптические вариации паросодержания атмосферы V над Гренландией проявляются во временных рядах яркостных температур $T_{\text{яв,г}}(\nu)$ над тестовыми областями в районе станции GeoSummit (72.58° с.ш., 38.48° з.д.) и на Южном плато (60° с.ш., з.д.). Временные ряды охватывают период с августа 2015 г. до марта 2017 г. Наиболее четко вариации $T_{\text{яв,г}}(\nu)$ выражены на частотах в области сильной резонансной линии водяного пара на 183.31 ГГц. В холодный период года, когда значения V уменьшаются до 0.2–0.3 кг/м^2 и ниже, приращения $T_{\text{я}}$ на этих частотах могут достигать нескольких десятков Кельвинов за одни сутки.

Спутниковые измерения сопоставлены с вариациями паросодержания атмосферы по данным радиозондированиям, с температурой воздуха у поверхности на станции GeoSummit и с расчетными значениями $T_{\text{яв,г}}(\nu)$, найденными путем численного интегрирования уравнения переноса излучения в системе атмосфера–подстилающая поверхность. В качестве входной информации использовались радиозондовые вертикальные профили давления, температуры и влажности атмосферы и сведения о коэффициентах излучения поверхности. Паросодержание атмосферы, водозапас облаков и скорость ветра в погодных системах над Гренландским и Норвежским морями также находились по спутниковым микроволновым измерениям. Для сравнения использовались данные радиозондирования на острове Ян-Майен. Подчеркнуто влияние Гренландии на развитие циклонических образований над этими морями. Преимуществом совместного анализа МВ измерений с нескольких спутников

является возможность оценки не только параметров тропосферы, но и характеристик нижней стратосферы, поверхности океана, морских и материковых льдов и подповерхностных слоев ледяного щита Гренландии.

Water vapor in the atmosphere over Greenland and the surrounding seas from measurements of MTVZA-GY, AMSR2, and GMI microwave radiometers

L.M. Mitnik (lm_mitnik@mail.ru), V.P. Kuleshov, and M.L. Mitnik
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch RAS, 43 Baltiyskaya st., 690041 Vladivostok, Russia

A large area (more than 2.1 million km^2) extending roughly between 60° N and 83.5° N, the ice sheet up to 2–3 km thick and up to 3.5 km height above the sea level predetermine the diversity of the hydrometeorological characteristics of Greenland. The Greenland ice sheet has a large impact on the circulation and characteristics of the Arctic atmosphere and plays a significant role in global sea level and climate change. The negative balance of the ice sheet continental accelerated in the last decades due to warming is making an ever-increasing contribution to raising the level of the world's oceans. Numerous investigations directed toward studying the surface and subsurface characteristics, meteorological conditions in the Greenland atmosphere, synoptic processes and the sea ice around the island, were based on the ground-based meteorological and radiosonde measurements, aircraft and satellite remote sensing data in various wavelength ranges.

In the paper, the main attention is paid to the air humidity over Greenland and the surrounding seas. The various humidity characteristics were retrieved from the data acquired in 2014–2017 by several multichannel microwave scanning radiometers such as Meteor-M No. 2 MTVZA-GY (Russia), GCOM-W1 AMSR2 (Japan) and GPM GMI (USA, Japan). The measurements were carried out at frequencies ν from 6.9 GHz (AMSR2) to (183.31 ± 7.0) GHz (MTVZA-GY, GMI) with vertical (V) and/or horizontal (H) polarizations. All radiometers used conical scanning; the swath width was equal to 885 km for GMI and 1500 km for AMSR2 and MTVZA-GY. The seasonal and synoptic variations of the atmospheric water vapor content V over Greenland were clearly seen in the time series of the brightness temperatures $T_{\mathrm{BV,H}}(\nu)$ over the test areas near the GeoSummit station (72.58° N, 38.48° W) and on the Southern Plateau (63° N, 46° W). The time series cover the period from August 2015 to March 2017. The maximum day-to-day $T_{\mathrm{BV,H}}(\nu)$ variations were observed at frequencies near strong water vapor resonance line at 183.31 GHz. During cold period, the V values decrease to 0.2–0.3 kg/m^2 and less and the T_{B} increments at these frequencies can reach several tens of Kelvin in one day.

The satellite measurements are compared with the variations of radiosonde-derived values of the atmospheric water vapor content, air surface temperature at the GeoSummit station as well as with the simulated $T_{\mathrm{BV,H}}(\nu)$ found by numerical integration of the radiation transfer equation in the atmosphere–underlying surface system. The radiosonde vertical profiles of the atmosphere pressure, temperature and humidity and the surface emissivity values were used as the input information. The AMSR2, GMI and MTVZA-GY microwave measurements over the Greenland and Norwegian Seas allowed to estimate the total water vapor content, total cloud liquid water content and sea surface wind speed in the intense weather systems. The surface weather charts and radiosonde data issued from the Jan Mayen Island were used for comparison. The influence of Greenland on the cyclonic formation and evolution over the surrounding seas is underlined.

Особенности атмосферной циркуляции над Евразией летом 2016 года и дальний перенос продуктов горения сибирских лесов в европейские регионы

Ситнов С.А. (sitnov@ifaran.ru), Мохов И.И., Горчаков Г.И., Джола А.В.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Дальний перенос в атмосфере загрязняющих веществ, в частности продуктов горения, является одной из важнейших глобальных проблем. С использованием спутниковых и наземных измерений, данных реанализа и траекторного моделирования проведен анализ задымления атмосферы европейских регионов летом 2016 г. Результаты анализа свидетельствуют, что причиной задымления атмосферы, с увеличением атмосферной оптической толщины над европейской территорией России до 3, был дальний перенос продуктов горения лесов Сибири. Наряду с особенностями переноса в атмосфере дымового аэрозоля отмечены соответствующие особенности изменений содержания монооксида углерода (CO) [1]. Восточный перенос дыма и CO в атмосфере средних широт в июле 2016 г. осуществлялся на расстояние до 5 тысяч км со скоростью около 5 м/с преимущественно в нижней тропосфере.

Анализ особенностей атмосферной циркуляции над Евразией свидетельствует, что аномальному переносу продуктов горения с востока на запад способствовало формирование в атмосфере над Северной Евразией области высокого давления к северу от области низкого давления, характерное для атмосферного блокирования дипольного типа. Подобные особенности атмосферной циркуляции над Тихим океаном в августе 2004 г. способствовали переносу продуктов горения североамериканских лесных пожаров в Северную Евразию [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-05-07853_а).

1. Ситнов С.А., Мохов И.И., Горчаков Г.И., Джола А.В. Дымная мгла над европейской территорией России летом 2016 года: связь с лесными пожарами в Сибири и аномалиями атмосферной циркуляции // Метеорология и гидрология. 2017 (в печати).
2. Ситнов С.А., Мохов И.И. Аномальный трансграничный перенос продуктов горения от североамериканских лесных пожаров в Северную Евразию // Доклады РАН. 2017 (в печати).

Peculiarities of atmospheric circulation over Eurasia in summer 2016 and the long-range transport of combustion products from Siberian wildfires to European regions

S.A. Sitnov (sitnov@ifaran.ru), I.I. Mokhov, G.I. Gorchakov, A.V. Dzhola
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

The long-range transport of atmospheric pollutants, in particular the transport of combustion products, is one of the most important global problems. With the use of satellite and ground-based data, as well as reanalysis data and trajectory modeling, an analysis of smoke blanketing over European regions in the summer of 2016 was conducted. The results indicate that the cause of the smoke blanketing (with an increase in the atmospheric optical thickness (AOT) over European Russia up to 3), was the long-range transport of the combustion products, from the forest fires in Siberia. The increase in AOT was accompanied by the increase in the carbon monoxide (CO) total column [1]. The westward transfer of smoke and CO was carried out at a distance of up to 5000 km at a speed of about 5 m/s, mainly in the lower troposphere.

An analysis of the peculiarities of atmospheric circulation over Eurasia in July 2016 showed that the anomalous transport of combustion products from east to west was favored by the predominant location over the central part of Northern Eurasia the high pressure region to the north from the low pressure region, characteristic for the atmospheric blocking of the dipole type. Similar features of the regional atmospheric circulation, occurred over the Chukchi and Barents Sea in August 2004, led to the transfer of combustion products from North American forest fires to Northern Eurasia [2].

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research project 15-05-07853.
1. Sitnov S.A., Mokhov I.I., Gorchakov G.I., Dzhola A.V. The smoke haze over European Russia in the summer of 2016: the link with the forest fires in Siberia and with the anomalies of atmospheric circulation // Russian Meteorology and Hydrology. 2017 (in press).
2. Sitnov S.A., Mokhov I.I. Anomalous transboundary transport of biomass burning products from North American wildfires to Northern Eurasia // Doklady Earth Sciences 2017 (in press).

Радиометрическая интеркалибровка коротковолновых каналов многоканального спутникового устройства КА «Метеор-М» №2 по радиометру AVHRR

Филей А.А. (andreyvm-61@mail.ru), Рублев А.Н., Зайцев А.А.
Дальневосточный центр НИЦ «Планета», ул. Ленина 18, 680000 Хабаровск, Россия

В настоящей работе приведены результаты расчетной интеркалибровки значений коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) прибора МСУ-МР космического аппарата (КА) «Метеор-М» №2 по измерениям AVHRR КА серии Metop. Выбор AVHRR/Metop в качестве эталона обусловлен участием приборов в многочисленных интеркалибровках и сходными с МСУ-МР спектральными характеристиками. Радиометрическая интеркалибровка необходима, чтобы поставить в соответствие коэффициенты спектральной яркости (КСЯ), измеряемые обоими приборами на верхней границе атмосферы.

С этой целью отбирались изображения тестовых полигонов на территории пустыни в стабильных атмосферных условиях с интервалом времени не более получаса между съёмками обоих спутников. Для повышения точности сопоставления особенности спектральных характеристик каналов двух приборов были учтены с помощью постоянных множителей, рассчитанных предварительно на основе моделирования спектров отражения системы «поверхность–атмосфера» для различных значений альбедо подстилающей поверхности. При близких углах наблюдения и зенитном угле Солнца были получены коэффициенты прямо пропорциональных зависимостей между КСЯ, измеренными обоими приборами в видимом и ближнем инфракрасном спектре. Полученные коэффициенты обеспечили хорошее соответствие КСЯ, регистрируемых в первых трех каналах AVHRR и МСУ-МР: сами коэффициенты отличаются от единицы не более чем на 4 %, а величина их среднеквадратичного отклонения не превышает 1.3 %.

Radiometric intercalibration of short-wave channels of multi-channel satellite device (onboard Meteor-M №2) using AVHRR measurements

A.A. Filey (andreyvm-61@mail.ru), A.N. Rublev, A.A. Zaitsev
Far-Eastern Center of SRC «Planeta», 18 Lenin sq., 680000 Khabarovsk, Russia

In this paper we present the results of radiometric inter-calibration of spectral brightness coefficients of Multi-Channel Scanning Unit (MSU-MR) on-board Meteor-M № 2 relative to radiometer AVHRR on-board the Metop series. The AVHRR/Metop data was used as a reference, as these instruments regularly participate in inter-calibrations and have the channel spectral functions similar to MSU-MR. Radiometric inter-calibration was necessary to achieve conformity between spectral brightness coefficients measured by both devices in the top of the atmosphere.

To this end, we have selected a number of images of the desert territory taken by both satellites in stable atmospheric conditions, with a time interval of not more than half an hour. To improve the accuracy of the data comparison, certain differences in the characteristics of the spectral bands of the two satellite sensors had been accounted for with the help of permanent multipliers. These were obtained preliminarily based on the simulation of reflectance measurements for the ‘surface–atmosphere’ system for various values of the underlying surface albedo. Under close observation angles and the Sun’s position, we have identified directly proportional relationships between reflectance coefficients measured by both satellites in the visible and near-

infrared ranges. The obtained coefficients demonstrated good correspondence with the reflectance coefficients registered in the first three AVHRR and MSU-MR channels: they deviate from 1.0 by not more than 4 %, while their standard deviation does not exceed 1.3 %.

Использование статистических моделей текстуры изображений и физических параметров облаков для их классификации по спутниковым снимкам MODIS

Скороходов А.В. (vazime@yandex.ru), Астафуров В.Г.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия

Облачность является одним из основных факторов, влияющих на теплообмен в атмосфере Земли, воздействуя на перенос радиации в системе «атмосфера–подстилающая поверхность», теплопроводность и фазовые преобразования воды. При этом в зависимости от яруса облака вносят в этот теплообмен различный вклад. Так плотная облачность нижнего яруса не только препятствует выхолаживанию подстилающей поверхности, но и отражает значительную часть приходящего излучения назад в космическое пространство, а также может незначительно поглощать его. Тонкие облака верхнего яруса рассеивают солнечную радиацию. Облачность среднего яруса, часто имеющая смешанный состав из капель с ледяными кристаллами, может, как отражать, так и рассеивать приходящее излучение. Таким образом, знание структуры глобального поля облачности и его характеристик позволяет прогнозировать изменения потоков и рассчитывать параметры переноса солнечной радиации при решении различных задач климатологии и метеорологии.

В настоящее время основным источником информации о глобальном поле облачности являются результаты дистанционного зондирования Земли из космоса. В существующих работах облака на спутниковых снимках классифицируются по 10–14 разновидностям, включая их основные формы и некоторые подтипы. В то же время данные систем космического базирования позволяют восстанавливать такие физические характеристики облачности, как высота и температура их верхней границы, оптическая толщина, эффективный радиус частиц, водозапас, коэффициент отражения, эффективная излучательная способность, и ряд других параметров. При этом актуальной задачей остается классификация многоярусной облачности при наличии оптически тонких или разорванных облаков на спутниковых снимках. Это связано с тем, что одновременное присутствие облаков нескольких ярусов приводит к искажению как текстурных, так и физических характеристик, восстанавливаемых по результатам спутниковых измерений, что ведет к неопределенности классификации. Поэтому единственным, относительно надежным, источником информации о многослойности облачности являются данные наземных метеостанций, классификация облаков на которых выполняется путем визуального наблюдения.

В докладе представлен алгоритм классификации многоярусной облачности при наличии просвечивающих или разорванных облаков на спутниковых снимках путем применения технологии нейронных сетей и методов нечеткой логики. Для инициализации функций принадлежности предлагается использовать результаты построения статистических моделей текстуры изображений и физических параметров 16 разновидностей облаков на основе спутниковых данных MODIS с различным пространственным разрешением. Применение методов нечеткой логики позволяет принимать множественное решение об отнесении исследуемого участка облачности на спутниковом снимке одновременно к нескольким разновидностям облаков, но с различной степенью принадлежности. При этом в качестве обучающей выборки используются характерные образцы одноярусной облачности для каждого ее типа. Применение функций распределения текстурных характеристик изображений различных типов облачности и оценок их параметров фактически позволяет избежать процедуры обучения классификатора и ускорить поиск информативных признаков.

Это достигается за счет того, что подобранные в рамках модели функции распределения точнее описывают флуктуации значений параметров облачности, чем применение только функций Гаусса. В докладе представлено описание алгоритма формирования системы эффективных классификационных характеристик, основанного на принципе усеченного перебора. Реализация алгоритма классификации и поиска информативных признаков выполнена с использованием технологии параллельных вычислений NVIDIA CUDA, что позволило в разы сократить время их выполнения. Кроме этого, в докладе обсуждаются итоги формирования системы эффективных классификационных характеристик, результаты классификации многоярусной облачности по спутниковым снимкам MODIS территории Томской области и перспективные направления развития данной работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-исследовательского проекта № 16-37-60019 мол_а_дк.

Using statistical models of image texture and physical parameters of clouds for their classification based on MODIS satellite images

A.V. Skorokhodov (vazime@yandex.ru), V.G. Astafurov
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia

Cloudiness is one of the main factors affecting the heat exchange in the Earth's atmosphere, affecting the radiation transfer in the "atmosphere–underlying surface", the thermal conductivity and phase transformations of water. Clouds contribute to this heat exchange a different contribution depending on layer. So thick cloudiness of the low layer not only prevents cooling of the underlying surface, but also reflects a significant part of the incoming radiation back to space, and can also absorb it insignificantly. Thin clouds of the high layer scatter solar radiation. Cloudiness of the middle layer, consisting of drops with ice crystals, can reflect and scatter the incoming radiation. Thus, knowledge of the global cloud field structure and its characteristics allows predicting changes of fluxes and calculating the parameters of solar radiation transfer for solving different problems of climatology and meteorology.

At present, the main information source about the global cloud field is the results of remote sensing of the Earth from space. In existing works, clouds on satellite images are classified into 10–14 types, including their basic forms and some subtypes. At the same time, data from space-based systems allow to restore such physical characteristics of clouds as cloud-top temperature and height, optical thickness, effective particle radius, water capacity, reflectivity, effective emissivity and other parameters. At the same time, the actual problem remains the multilayered cloud classification on the background of optically thin or broken clouds at the satellite imagery. This is due to the fact that the simultaneous existence of several layer clouds leads to a perturbation of texture and physical characteristics, which are recovered from the results of satellite measurements, leading to the classification ambiguity. Therefore, the only and relatively reliable source of information about the multilayered cloudiness is the data of ground-based weather stations classifying of clouds by visual observation.

The report presents an algorithm for multilayered cloud classification in the presence of translucent or broken clouds on satellite imagery by applying the neural network technology and fuzzy logic methods. For initializing membership functions, it is proposed to use results of constructing statistical models of image texture and physical parameters of 16 cloud types based on MODIS satellite data with different spatial resolution. The use of fuzzy logic methods allows to make a multiple decision to assign the investigated cloud fragment on a satellite image to several cloud types simultaneously with different degrees of belonging. In this case, typical patterns of single-layer cloudiness for each cloud types are used as a training sample. The use of the distribution functions of images texture characteristics of different cloud types and their parameter estimates actually avoids the training procedure of the classifier and accelerates the search of informative features. This is achieved due to the fact that the distribution functions selected in the model more effective describe the fluctuations in the values of cloud parameters than the use of

Gaussian functions only. The report describes the algorithm for forming the system of effective classification characteristics based on the approach of truncated search. The implementations of the classification algorithm and the search of informative features were performed using the NVIDIA CUDA parallel computing technology allowing to reduce the execution time. In addition, the report discusses the results of formating the effective classification characteristic system and the multilayered cloud classification results using MODIS satellite images of the Tomsk region and perspective directions for the development of this work.

The reported study was funded by RFBR according to the research project No. 16-37-60019 mol_a_dk.

Валидация температурного зондирования атмосферы с борта МИСЗ «Метеор-М» № 2 (прибор ИКФС-2)

Поляков А.В.[1] (a.v.polyakov@spbu.ru), Тимофеев Ю.М.[1], Успенский А.Б.[2], Кухарский А.В.[2]

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

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

Вертикальные профили температуры, полученные на основе спектральных спутниковых измерений уходящего теплового излучения прибором ИКФС-2 (спутник «Метеор М № 2») в безоблачных условиях, сравниваются с данными радиозондирования и результатами анализа NCEP GFS. Согласование вертикального разрешения различных методов измерений приводит к уменьшению среднеквадратичной разности результатов на 0.2–1 К и более в зависимости от высоты в атмосфере.

Смещение результатов спутниковых измерений относительно радиозондовых не превосходит по абсолютной величине 1 К, среднеквадратичные разности меняются от 1.2 К до 1.8 К в свободной тропосфере. В приземном слое среднеквадратичные разности растут до 4 К. Среднеквадратичные разности спутниковых измерений температуры и данных NCEP GFS над сушей (более 2 К против 1.2–1.8 К для радиозондов) демонстрируют худшее согласие. Показано, что хотя над водной поверхностью в свободной тропосфере среднеквадратичная разность по данным спутника и NCEP GFS менее 1 К, над сушей она достигает 1.5–2 К.

В безоблачных случаях над водной поверхностью точности зондирования ИКФС-2 при сравнении с результатами анализа близки к достигнутым для известного европейского прибора IASI.

Исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра Научного парка СПбГУ "Геомодель", при поддержке Российского научного фонда (проект №14-17-00096 – измерения МГС атмосферы).

Validation of temperature sounding of the atmosphere from a board of «Метеор-М» № 2 satellite (IRFS-2 device)

A.V. Polyakov[1] (a.v.polyakov@spbu.ru), Yu.M. Timofeev[1], A.B. Uspensky[2], A.V. Kukharsky[2]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

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

The vertical temperature profiles retrieved from spectral satellite measurements of outgoing thermal radiation by the IRFS-2 device («Meteor M № 2» satellite) in cloudless conditions are compared with radiosonde data and results of the NCEP GFS analysis. It is shown that the adjustment of vertical resolutions of various measurements leads to the decrease of a mean square difference between results by 0.2–1 K and more depending on the atmospheric altitude.

In the case of the consistent vertical resolution, average differences between satellite and radiosonde measurements do not exceed 1 K in an absolute value, and mean square differences change from 1.2 K to 1.8 K in free troposphere. In near-surface layer, mean square differences increase up to 4 K. Over the land, mean square differences between satellite measurements and NCEP GFS data (more than 2 K against 1.2–1.8 K for radiosondes) show the worst consent. It is shown that though in the free troposphere over a water surface the mean square difference between satellite and NCEP GFS data less than 1 K, over the land, it reaches 1.5–2 K.

In cloudless cases over water surface, the accuracy of IRFS-2 temperature sounding (when comparing with results of the analysis) is close to the accuracy reached for IASI.

The study was carried out using equipment of the Center for Geo-Environmental Research and Modeling (GEOMODEL) of the Research park of St. Petersburg State University, and supported by Russian Science Foundation (project 14-17-00096).

Первые эксперименты по восстановлению распределения NO_2 в тропосфере урбанизированных районов с высоким пространственным разрешением по данным спутниковых измерений

Боровский А.Н.[1] (alexander.n.borovski@gmail.com), Макаренков А.А.[2], Постыляков О.В.[1]

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

[2]*Рязанский государственный радиотехнический университет, ул. Гагарина 59/13, 90005, Рязань, Россия*

Семейство окислов азота (NO_x=NO+NO_2) играет главную роль в разрушении озона в стратосфере и его образовании в тропосфере. Поскольку диоксид азота (NO_2) имеет полосы поглощения в видимой области спектра, его содержание в атмосфере может быть измерено дистанционными спектрометрическими методами зондирования, в том числе из космоса. В настоящее время измерения содержания диоксида азота в тропосфере проводятся с помощью инструментов OMI/Aura и GOME-2/MetOp-A&B. Типичное для этих инструментов пространственное разрешение составляет 13×24 км и 40×80 км, соответственно. Запуск инструмента TROPOMI/Sentinel-5P, который ожидается в 2017 г., позволит проводить измерения с разрешением 3.5×7 км. С 2013 года на солнечно-синхронной орбите работает серия российских спутников "Ресурс-П". В настоящее время работают три спутника "Ресурс-П", еще два планируется запустить до 2020 года. Гиперспектральная аппаратура (ГСА), установленная на борту «Ресурс-П», регистрирует солнечное излучение в 230 спектральных каналах в диапазоне от 400 нм до 1000 нм. Детектор ГСА проводит съемку части земной поверхности размером 30 км в ширину и нескольких сотен км в длину с разрешением 30 м. Для определения содержания диоксида азота в атмосфере обычно используется интенсивность солнечного излучения, зарегистрированная в спектральном диапазоне 430–490 нм. В этом диапазоне ГСА имеет спектральное разрешение до 3 нм, в то время, как для определения содержания диоксида азота в атмосфере спектры ослабления солнечного излучения обычно регистрируются с лучшим разрешением (до 1 нм).

Мы исследовали возможность определения содержания диоксида азота в тропосфере на основе полученных ГСА снимков областей Китая с высоким антропогенным загрязнением атмосферы. Разработан алгоритм определения содержания диоксида азота по данным космических снимков ГСА «Ресурс-П». Разработанный алгоритм позволяет получить содержание диоксида азота с пространственным разрешением около 2 км, что превышает пространственное разрешение других современных спутниковых инструментов. Таким образом, ГСА «Ресурс-П» является интересным инструментом для исследования содержания диоксида азота. В работе будут представлены алгоритм и первые экспериментальные результаты определения содержания диоксида азота в атмосфере из данных космической съемки ГСА «Ресурс-П».

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

First experiments on retrieval of distribution of NO_2 in troposphere over urban areas with high spatial resolution basing on satellite measurements

A.N. Borovski[1] (alexander.n.borovski@gmail.com), A.A. Makarenkov[2], O.V. Postylyakov[1]
[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhyovskiy per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*Ryazan State Radio Engineering University, 59/13 Gagarin str., Ryazan, Russia*

Tropospheric nitrogen dioxide is routinely retrieved by OMI/Aura and GOME-2/MetOp-A&B with typical spatial resolution of 13×24 km and 40×80 km, respectively. Expected to launch in 2017 TROPOMI/Sentinel-5P will have resolution of 3.5×7 km. A series of Russian satellite Resurs-P operate since 2013 in sun-synchronous orbit. Three Resurs-P satellites are operating now and two more are expected to launch until 2020. A hyperspectral imager GSA resolved more than 230 spectral bands from 400 nm to 1000 nm is mounted on its board. It takes image of area of 30–km width and of several hundreds km length with 30 m resolution. The main goal of the instrument is natural resource investigation. The instrument has spectral resolution up to 3 nm at 430–490 nm spectral region which is used for the retrieval of NO_2. GSA resolution is worse than those what is usually used for NO_2 oriented satellite.

We investigate opportunity to retrieve tropospheric NO_2 based on GSA images of highly polluted regions of China. The developed algorithm shows the spatial resolution of about 2 km what exceed other available now satellite instrument and considered as a target for future GEO instruments. So it provide the interesting tool for NO_2 investigations. The algorithm and the first experimental results will be presented.

This study was supported by Russian Science Foundation by grants number 14-47-00049.

Спутниковое исследование явления цветений кальцифицирующего фитопланктона и выявление основных влияющих физико-биогеохимических факторов

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

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

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

Мы выражаем нашу благодарность за возможность выполнения этой работы в рамках проекта РНФ №17-17-01117.

A satellite study of the phenomenon of calcifying phytoplankton blooms and establishment of the main physical and biogeochemical factors controlling it

Dmitry Kondrik[1] (dmitry.kondrik@niersc.spb.ru), Dmitry Pozdnyakov[2], Lasse Pettersson[3]
[1]*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line of Vasilievsky Island Office 49, 199034 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 Saint-Petersburg, Russia*
[3]*Nansen Environmental and Remote Sensing Center, 47 Thormohlensgate, Bergen, Norway*

The study addresses Emiliania huxleyi algae – the most common species among the world ocean's coccolithophorids. E. huxleyi are micro algae that generate inorganic carbon. The latter affects the chemistry of the aquatic environment as well as the dynamics of the carbon cycle in the ocean–atmosphere system. E. huxleyi also emit dimethylsulphide that is reportedly capable of enhancing cloudiness formation. Intense E. huxleyi blooms affect both the biota growth conditions and water chemistry within the area of their location. Thus, investigation of spatio-temporal bloom dynamics of E. huxleyi appears to be a hot problem.

To tackle this problem, remote sensing techniques are most appropriate. We employed both the bio-optical algorithm BOREALI developed at the Nansen Centre and the hydrooptical model of the aquatic medium within the E. huxleyi bloom area. The retrieval results thus obtained have the same spatial and temporal resolution as the original satellite images. This allows to perform operational analysis of E. huxleyi bloom related alterations in the biogeochemistry of any marine areas not masked by cloudiness. Importantly, the blooms formation process is very complex and depends on many parameters. That is why the study of the influence of each of these parameters constituted a significant part of this study. The establishment of the E. huxleyi bloom formation controlling factors/mechanisms will allow in the future an adequate interpretation of major causal relationships between changes in environmental parameters and dynamics of coccolithophorid blooms, as well as to make reliable forecasts of occurrence and extent of this phenomenon in the future.

We express our gratitude for the primary financial support of this study provided by the Russian Science Foundation (RSF) under the project #17-17-01117.

Использование спутниковых данных о метеорологических характеристиках, характеристиках растительного покрова и влажности поверхности почвы при моделировании водного режима территории части Центрально-Черноземного региона ЕТР

Старцева З.П.[1] (starzoya@yandex.ru), Музылев Е.Л.[1], Волкова Е.В.[2], Василенко Е.В.[2]
[1]*Институт водных проблем РАН, ул. Губкина 3, 119333 Москва, Россия*
[2]*НИЦ космической гидрометеорологии "Планета" Росгидромета, Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва*

Эффективность применения физико-математических моделей влаго- и теплообмена подстилающей поверхности (ПП) с атмосферой (LSM, Land Surface Model) для получения оценок характеристик водного режима занятых сельскохозяйственными культурами территорий напрямую зависит от возможности привлечения при моделировании результатов спутниковой съемки в разных спектральных диапазонах. В работе исследованы возможности использования в LSM оценок осадков, температуры подстилающей поверхности (ТПП), вегетационного индекса NDVI, листового индекса LAI и проективного покрытия растительностью В, полученных при тематической обработке данных измерений аппаратуры МСУ-МР/Метеор-М №2 (наравне с данными SEVIRI/Meteosat-10 и AVHRR/NOAA) для

расчетов влагозапасов почвы, суммарного испарения и других характеристик водного режима рассматриваемой территории. LAI и B используются в модели в качестве параметров, а количество осадков и ТПП – в качестве входных переменных. Также по данным скаттерометров ASCAT/MetOp-A, -B были рассчитаны значения влажности поверхности почвы. Для исследований была выбрана территория части Центрально-Черноземного региона России, включающая 7 областей РФ, общей площадью 227300 км^2. Работа проводилась для сезонов вегетации 2015–2016 гг.

Расчеты суточных и месячных сумм осадков производились по данным об их интенсивности, полученным с помощью предложенной Е.В.Волковой комплексной пороговой методики (КПМ) детектирования облачности, выделения зон осадков и определения их мгновенной максимальной интенсивности в границах пиксела. Алгоритм расчета осадков разработан автором в двух вариантах – с постоянными значениями коэффициентов, полученными для той же месячной выборки, по которой рассчитываются суммы осадков, и со значениями, непрерывно меняющимися и зависящими от номера календарного дня. Проверка достоверности построенных с помощью КПМ по данным МСУ-МР оценок осадков на каждом временном шаге включала сравнение распределений по площади их значений, определенных по данным измерений МСУ-МР, AVHRR и SEVIRI и аналогичных оценок, полученных при интерполяции данных наземных наблюдений. Совпадение зон осадков, определявшихся по данным МСУ-МР и по наземным данным, достигалось в 75–85 % случаев. Аналогичные значения вероятности совпадения были получены и при оценках зон осадков по данным AVHRR и SEVIRI.

Оценки эффективной ТПП $T_{\mathrm{s.eff}}$ и температуры поверхности растительного покрова T_{a} по данным МСУ-МР были получены при использовании вычислительного алгоритма, разработанного на основе КПМ и опробованного на данных AVHRR и SEVIRI для исследуемого региона. Сравнение значений температур, определенных по данным наземных измерений, МСУ-МР, AVHRR и SEVIRI, показало, что различия между всеми полученными оценками для подавляющего числа сроков наблюдений не превышало погрешности расчета данных величин по информации AVHRR/NOAA. Такой же вывод был сделан и по результатам построения по данным МСУ-МР временного хода LAI за сезон вегетации.

Спутниковые оценки осадков, LST, LAI и B использовались в LSM (при учете пространственной неоднородности их полей) путем ввода в нее вместо значений, определенных по данным наблюдений на агрометеостанциях. Адекватность таких замен подтверждена результатами сравнения рассчитанных по модели и измеренных значений влагозапасов почвы W и суммарного испарения E_{v}, расхождения между которыми не превышали 15 % для W и 25 % для E_{v}, что можно считать приемлемым результатом. Выходными продуктами LSM являются ежесуточные распределения по площади исследуемого региона рассчитанных с указанной точностью значений W, E_{v}, вертикальных потоков скрытого и явного тепла и других характеристик водного и теплового режимов для сезонов вегетации 2015–2016 гг. Таким образом, показана возможность использования в модели данных МСУ-МР/Метеор-М №2 совместно с данными других спутников для расчета всех названных характеристик.

Также в работе по данным скаттерометра ASCAT/MetOp-A,-B построены оценки влажности поверхности почвы исследуемого региона за сезоны вегетации 2014–2016 гг. Эти оценки сравнивались для нескольких агрометеостанций с аналогичными оценками, полученными с помощью адаптированной к спутниковым данным LSM. Определенные по измерениям ASCAT значения данной величины использовались при моделировании для задания начальных условий по влажности почвы. Полученные оценки влажности поверхности почвы могут также быть использованы для выбора значений почвенных параметров модели.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – грант № 16-05-01097.

Using satellite data on meteorological and vegetation cover characteristics and soil surface humidity for modeling the water regime of part of the Central Black Earth region territory of the European Russia

Z.P. Startseva[1] (starzoya@yandex.ru), E.L. Muzylev[1], E.V. Volkova[2], E.V. Vasilenko[2]
[1]*Water Problems Institute RAS, 3 Gubkina str., 119333 Moscow, Russia*
[2]*State Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*

The effectiveness of employing physical-mathematical models of water and heat exchange between land surface and atmosphere (LSM, Land Surface Model) to produce estimates of the water regime characteristics for the territories taken by agricultural crops directly depends on the possibility of using results of satellite imagery in different spectral ranges when modeling. In the study, the possibilities of utilizing estimates of precipitation, land surface temperature LST, vegetation index NDVI, leaf area index LAI and vegetation cover fraction B built by thematic processing MSU-MR/Meteor-M №2 measurements (along with SEVIRI/Meteosat-10 and AVHRR/NOAA data) in the LSM to calculate soil water content, evapotranspiration and other water regime characteristics for the area of interest have been investigated. LAI and B are used as the model parameters, and the amount of precipitation and LST are considered to be the input variables. The values of soil surface humidity have been also calculated from the ASCAT/MetOp-A, -B scatterometer data. For the study, part of the Central Black Earth region territory of the European Russia with a total area of 227300 km^2 which includes 7 regions of the Russian Federation has been chosen. The investigation has been carried out for the years 2015–2016 vegetation seasons.

Daily and monthly sums of precipitation have been calculated from data on their intensity obtained with the help of the proposed by E.V.Volkova Complex Threshold Method (CTM) for detecting clouds, highlighting rainfall zones and determining their instantaneous maximum intensity within the pixel. The algorithm of rainfall calculation has been developed by the author in two versions: with constant values of the coefficients obtained for the same monthly sample by which precipitation amounts are calculated, and with values that continuously vary and depend on the calendar day number. Verification of the trustworthiness of the rainfall estimates at each time step derived from the MSU-MR data using the CTM has included comparing the area distributions of their values determined from MSU-MR, AVHRR and SEVIRI measurements and similar estimates obtained by the interpolation of ground-based observations. The coincidence of rainfall zones determined from the MSU-MR and ground-based data has been achieved in 75–85 % of cases. Similar probability of coincidence has been also recorded when highlighting rainfall zones from the AVHRR and SEVIRI data.

Estimates of the effective LST $T_{\mathrm{s.eff}}$ and the vegetation cover surface temperature T_{a} have been obtained using the computational algorithm developed on the basis of the CTM and tested on the AVHRR and SEVIRI data for the region under study. Comparison of the LST values determined from ground-based measurements, MSU-MR, AVHRR and SEVIRI data has shown that the differences between all the estimates obtained for the overwhelming number of observation terms have not exceeded the estimation error of AVHRR-derived values. The same conclusion has been drawn based on the results of constructing the time behavior of LAI for the vegetation season from the MSU-MR data.

Satellite estimates of precipitation, LST, LAI and B have been used in the LSM (taking into account the spatial heterogeneity of their fields) by entering into it instead of the values determined from data observed at agricultural meteorological stations. The adequacy of such replacements has been confirmed by the results of comparing the modeled and measured soil water content W and evapotranspiration E_{v}. The discrepancies between their values have not exceeded 15 % for W and 25 % for E_{v} that can be considered an acceptable result. The output products of the LSM are daily distributed over the area of interest values of W, E_{v}, vertical latent and sensible heat fluxes and other characteristics of the water and heat regimes calculated with the indicated accuracy for the years 2015–2016 vegetation seasons. Thus, there has been shown the possibility of utilizing the MSU-

MR/Meteor-M №2 data in the model together with the data of other satellites for calculating all the named characteristics.

In the study, the estimates of soil surface humidity for the area of interest have been also constructed from the ASCAT/MetOp-A, -B scatterometer data for the years of 2014–2016 vegetation seasons. These estimates have been compared for several agricultural meteorological stations with similar estimates obtained using the LSM adapted to satellite data. The values of this quantity retrieved from the ASCAT measurements have been used when modeling to determine the initial soil moisture conditions. Obtained estimates of the soil surface humidity can also be used to select the values of the soil parameters of the model.

The present study was carried out with support of the Russian Foundation of Basic Researches (grant № 16-05-01097).

Автоматизированное выделение морских льдов по РСА изображениям ИСЗ Сентинел-1

Захваткина Н.Ю.[1,2] (natalia@niersc.spb.ru), Весман А.В.[1,2] (anna.vesman@niersc.spb.ru), Мушта А.В.[1,3], Коросов А.А.[4]

[1]*Научный фонд "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-я Линия В.О. д. 7, бизнес-центр «Преображенский» оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия*

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

[3]*Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. 7/9, 199034 Санкт-Петербург, Россия*

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

Спутниковый радиолокатор с синтезированной апертурой (РСА) позволяет получить изображение независимо от условий дневной освещенности и облачности со сравнительно высоким пространственным разрешением. Данные РСА используются для оперативного картирования морского льда, исследования состояния ледяного покрова и разработки методов автоматизированного получения возраста и сплоченности морского льда. В рамках разработки алгоритма классификации снимков Sentinel-1 использовались изображения, получаемые в режиме Extra Wide в ГГ и ГВ поляризациях с шириной полосы обзора 400 км и пространственным разрешением 40 м х 40 м. На первом этапе происходит угловая коррекция ГГ- и удаления шума на ГВ-каналах изображения. Далее вычисляется набор текстурных характеристик с использованием матрицы совместной встречаемости (МСВ) уровней серого. В качестве классификатора используется метод опорных векторов, где входными признаками являются текстурные характеристики, рассчитанные для ГГ и ГВ-каналов. Обучение алгоритма проводилось на основе результатов визуального дешифрирования 40 изображений Sentinel-1.

Автоматизированный алгоритм определения возрастных характеристик ледяного покрова и выделения прикромочной зоны по данным Sentinel-1A различает следующие классы: 1) взволнованная открытая вода (2 класса); 2) спокойная открытая вода с ниласом; 3) прикромочная зона – достаточно узкая зона между открытой водой и льдом, которая состоит из смеси тех же типов льда, что присутствуют в основной зоне льдов или более молодые формы льда; 4) однолетний лед; 5) многолетний лед. В данной версии алгоритма невозможно выделить припай и молодой лед. Алгоритм дает удовлетворительный результат для регионов, по которым проводилось обучение (Баренцево и Гренландское моря). Валидация результатов осуществлялась с использованием ледовых карт Норвежского Метеорологического института.

Работа выполнена в рамках двухстороннего инициативного российско-норвежского проекта «Развитие системы мониторинга и прогнозирования морского льда для поддержки безопасной работы и навигации в арктических морях», проводимого при финансировании РФФИ и ИСН (№15-55-20002).

Automated sea-ice retrieval using Sentinel-1 SAR data

N.Yu. Zakhvatkina[1,2] (natalia@niersc.spb.ru), A.V. Vesman[1,2] (anna.vesman@niersc.spb.ru), A.V. Mushta[1,3], A.A. Korosov[4]

[1]*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line of Vasilievsky Island Office 49, 199034 Saint-Petersburg, Russia*

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

[2]*Saint-Petersburg State University, Research Park, Resource Center "Observatory for Ecological safety", 7/9 Universitetskaya nab., 199034 St. Petersburg, Russia*

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

Automated sea-ice retrieval using Sentinel-1 SAR data Dual-polarized SAR images are used for sea ice observation and development of automated algorithms for concentration and ice types retrieval. Automated classification algorithm uses Sentinel-1 SAR Extra Wide (EW) images with a nominal width of 400 km and a spatial resolution of 40 m x 40 m. At the first stage of the classification images the angular correction of HH-polarization and thermal noise removal of HV-polarization are applied. On the next stage a set of texture features is calculated based on a grey-level co-occurrence matrix. Support vector machine method exploiting SAR texture and backscatter features as inputs are used. Training dataset contained 40 Sentinel-1 images.

An automated algorithm for determining of the ice types and the ice edge delineation for Sentinel-1A data was developed. It distinguishes: 1) open water (2 classes), 2) calm open water with nilas; 3) marginal ice zone – a rather narrow zone between open water and ice, which consists of mixture of the same types of ice that are present in the main closed ice zone or younger forms of ice, 4) first-year ice; 5) multi-year ice. In this version of the algorithm it is impossible to distinguish fast ice and young ice. The algorithm gives a satisfactory result for the training regions – the Barents Sea and the Greenland Sea. The classification was validated using the ice charts of the Norwegian Meteorological Institute.

This work was funded by NORRUS project conducted jointly by RFBR and RCN–SONARC (№15-55-20002).

Специфика использования данных спутниковых измерений CO, CH_4 и AOT в загрязненных условиях

Ракитин В.С.[1] (vadim@ifaran.ru), Скороход А.И.[1], Поберовский А.В.[2], Штабкин Ю.А.[1], Сафронов А.Н.[1], Панкратова Н.В.[1], Джола А.В.[1]

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

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

Представлены результаты сопоставления спутниковых (L3, третий уровень спектрометров MOPITT V6J, AIRS V6 и MODIS/Terra/Aqua) и наземных (пункты ИФА РАН, СПбГУ, ИФА КАН, NDACC и AERONET) спектроскопических измерений общего содержания CO, CH_4 и аэрозольной оптической толщи (AOT) для фоновых, слабозагрязненных и загрязненных районов. Проанализированы результаты 15-ти наземных пунктов спектроскопических измерений CO и CH_4, и 14-ти станций AERONET, расположенных в Европе и Азии на территории нескольких стран в период 2010–2016 гг. Приведены параметры (в т.ч. и статистические) переходных соотношений для среднедневных значений. На основе анализа практически одновременных данных (разница во времени между наземными и спутниковыми измерениями на всех пунктах не превышала 3 часов) получены:

– хорошее соответствие (коэффициент линии линейной регрессии $K \approx 1$ при $R^2 \geq 0.6$ дневных данных AIRS V6 L3, разрешение 1°x1°) с наземными спектроскопическими данными общего содержания (ОС) CO во всех пунктах, расположенных в фоновых или слабозагрязненных районах;

– систематическое занижение AIRS V6 данных ОС CO (K = 1.5–3) в эпизодах высокого загрязнения (природные пожары, район Пекина) с относительно низкой корреляцией (R_2 ~ 0.3–0.5);

– систематическое завышение ($K \approx$ 0.6–0.8) MOPITT V6J наземных среднедневных значений, а также наличие у MOPITT V6J высоких среднедневных значений, не подтвержденное наземными данными, как в фоновых, так и в загрязненных условиях;

– удовлетворительная корреляция среднедневных ОС CH_4 (R_2 ~ 0.5, при K ~ 0.7–0.8) с данными наземных измерений в большинстве пунктов сопоставления;

– хорошая корреляция данных AOT MODIS/Terra/Aqua с данными наземных пунктов AERONET в большинстве пунктов сопоставления (R_2 ~ 0.6–0.9 при K ~ 0.8–1.1).

Исследование зависимости качества спутниковых данных от H_{pbl} – высоты слоя перемешивания (ПСА) – в момент пролета спутника обнаружило выраженную закономерность, а именно: при исключении из сопоставления дней, когда $H_{pbl} \leq 200 \div 300$ м для полярных регионов и 400 ± 700 м для средних широт, корреляция спутниковых и наземных данных ОС CO и CH_4 существенно увеличивается (в 1.2–1.6 раза, в зависимости от примеси и пункта сопоставления). При изучении влияния высоты слоя перемешивания на результаты сопоставления спутниковых (MODIS) и наземных данных (AERONET) подобная зависимость отсутствует. Завышение AOT спутниковыми приборами (в сравнении с данными AERONET) в условиях высоких загрязнений не зафиксировано. Полученные переходные соотношения между спутниковыми и наземными данными позволяют уточнять оценки эмиссий CO, CH_4 и аэрозолей.

Работа выполнена при поддержке проектов РНФ №16-17-10275, №14-17-00096 (проведение измерений на базе СПбГУ) и при частичной поддержке проекта РФФИ №16-05-00287 (в части проведения и анализа измерений ОС CO и CH_4 в Звенигороде).

Авторы также благодарят научные коллективы станций NDACC Кируна, Харестуа, Най Алесунд, Зуль, Бремен, Юнгфрау, Цугшпитце, а также станций AERONET за возможность использования данных их измерений.

Specifics of using of orbital CO, CH_4 and AOD data in polluted conditions

V. Rakitin[1] (vadim@ifaran.ru), A. Skorokhod[1], A.V. Poberovskii[2], Yu. Shtabkin[1], A. Safronov[1], N. Pankratova[1], A. Dzhola[1]

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

[2]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

We present the results of comparing of satellite (Level 3 of orbital spectrometers MOPITT V6J, AIRS V6 and MODIS/Terra/Aqua) and ground-based (sites OIAP RAS, SPbSU, IAP CAS, NDACC and AERONET) spectroscopic measurements of CO and CH_4 total columns (TC) and aerosol optical depth (AOD) for background, low-polluted and polluted regions. Data of 15 ground-based spectrometers measured CO and CH_4 TC and AOD data of 14 AERONET sites located in different countries during 2010−2016 are analyzed. Statistical parameters of transition relationships for diurnal means are presented too. Based on analysis of simultaneous measurements (the difference between satellite and ground-based observations has not exceeded 3 hours in all sites) the following results were obtained:

– high agreement (slope coefficient $K \approx 1$, $R^2 \geq 0.6$ for diurnal CO TC of AIRS V6 L3, resolution – 1°x1°) of orbital measurements with ground-based same in low-polluted and background regions;

– AIRS V6 observations systematic underestimating (K = 1.5−3) of CO TC in cases of heavy pollution of low troposphere (such as wild-fires or Beijing region pollution) and with relatively low correlation (R^2 = 0.3−0.5) with ground-based spectrometers;

– systematic overestimate (K = 0.6−0.8) by MOPITT V6J of ground-based diurnal CO TC. Also MOPITT V6J availability to get high diurnal means of CO TC without their confirmation of ground-based observations both in low-polluted and high-polluted conditions was found;

– enough high correlation of diurnal AIRS V6 and ground-based CH_4 TC ($R^2 \sim 0.5$, $K = 0.7-0.8$) in most of all sites of comparison;

– high correlation of MODIS/Terra/Aqua and AERONET diurnal AOD ($R^2 = 0.6–0.9$, $K = 0.8-1.1$).

The quality of orbital data improves by exclusion from datasets the days with low Height of Planetary Boundary Layer: $H_{pbl} \leq 200-300$ m for polar sites and $H_{pbl} \leq 400-700$ m for middle latitudes sites. Correlation of satellite and ground-based CO and CH_4 TC in this case significantly increases with factor 1.2–1.6, in dependence on species and site location. No such dependence was obtained for MODIS and AERONET comparison. Obtained transition relationships could be able to refine the CO, CH_4 and aerosol emission estimates.

This study was supported by the Russian Science Foundation under grants №16-17-10275, №14-17-00096 (carrying measurements by SPbSU) and partially by the Russian Foundation for Basic Research (grant № 16-05-00287 in part of providing the ground-based spectroscopic measurements in Zvenigorod).

The authors thank the scientific teams of NDACC stations Kiruna, Harestua, Ny Alesund, Zhule, Bremen, Jungfraujoch, Zugspitze, and AERONET stations for the possibility of using their measurement data.

Спектрометры УФ-видимого диапазона для мониторинга озоносферы Земли

Доброленский Ю.С.[1] (dobrolenskiy@iki.rssi.ru), Ионов Д.В.[2], Кораблёв О.И.[1], Фёдорова А.А.[1], Поберовский А.В.[2], Иванов Ю.С.[3], Синявский И.И.[3], Дзюбан И.А.[1]

[1]*Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия*

[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, Россия*

[3]*Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, ул. Ак. Заболотного 27, 03143 Киев, Украина*

В настоящее время в рамках проектов «Ионозонд» и «Ионозонд-2025» разрабатывается новая спутниковая аппаратура для мониторинга озоносферы Земли. Один из разрабатываемых спектрометров, получивший название Озонометр-ТМ [1, 2], предназначен для установки на малые космические аппараты "Ионосфера". Целью создания прибора является мониторинг общего содержания озона на основе надирных спутниковых измерений отраженного и рассеянного света. Озонометр-ТМ работает в спектральном диапазоне 300−500 нм со спектральным разрешением около 0.3−0.6 нм. К настоящему моменту создан квалификационный образец прибора. Проведено несколько серий тестовых наземных измерений в Москве, Санкт-Петербурге, Орле, а также на Кисловодской высокогорной научной станции на Кавказе. Получены оценки общего содержания озона, результаты сопоставлены с данными ближайших независимых измерений спутниковой аппаратурой.

Кроме того, для установки на космический аппарат «Зонд» разрабатывается новая модификация озонометра, получившая название «Озонометр-З». Этот вариант прибора представляет собой спектрометр со сверхшироким полем зрения (100 градусов). Он также отличается более высокой по сравнению с «Озонометром-ТМ» светосилой. Спектрометр «Озонометр-З» состоит из двух каналов: УФ-канала (300–400 нм) и ВИЗ-канала (400–800 нм). В отличие от Озонометра-ТМ, обладающего точечным полем зрения, Озонометр-З представляет собой видеоспектрометр, имеющий около 200 разрешимых элементов поперёк траектории движения космического аппарата. Соответственно, вместо линейного детектора, используемого в Озонометре-ТМ, в Озонометре-З предполагается установка ПЗС-матрицы. Расчётное спектральное разрешение составляет 0.3 нм в УФ-канале и 0.5 нм в ВИЗ-канале. К настоящему моменту разработана оптическая схема обоих каналов прибора Озонометр-З.

Работы выполнена при поддержке гранта РНФ № 16-12-10453.

1. Гатчин Ю.А., Красавцев В.М., Чиков К.Н. Доброленский Ю.С. Полихроматор для дистанционного зондирования и мониторинга общего содержания озона в атмосфере Земли // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 12. С. 30–33.
2. Dobrolenskiy Y.S., Ionov D.V., Korablev O.I., et al. Development of a space-borne spectrometer to monitor atmospheric ozone // Applied Optics. 2015. Vol. 54, No 11. P. 3315–3322.

Spectrometers of UV-visible range for Earth ozonosphere monitoring

Y.S. Dobrolenskiy[1], D.V. Ionov[2], O.I.Korablev[1], A.A. Fedorova[1], A.V. Poberovskii[2], Y.S. Ivanov[3], I.I. Syniavskyi[3], I.A. Dzuban[1]

[1]*Space Research Institute RAS, 84/32 Profsoyuznaya st., 117997 Moscow, Russia*

[2]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

[3]*Main Astronomical Observatory NASU, 27 Ak. Zabolotnogo st., 03680 Kyiv, Ukraine*

At present, new satellite equipment for Earth ozone layer monitoring is being developed within “Ionozond” and “Ionozond-2025” projects. One of the spectrometers, Ozonometer-TM, is to be included in the payload of small spacecrafts “Ionosphere” [1, 2]. The goal of the instrument development is total ozone monitoring by means of nadir satellite measurements of reflected and scattered light. Ozonometer-TM is operating in the spectral range 300–500 nm with spectral resolution about 0.3–0.6 μm. Up to now, the qualification model of the instrument has been manufactured. A number of ground-based testing measurements have been performed in Moscow, St. Petersburg, Oryol and Kislovodsk High-Mountain Station on Caucasus. Total ozone values estimations have been retrieved and the results have been compared with the closest independent measurements provided by on-ground and satellite instruments.

Besides, a new modification of the ozonometer called Ozonometer-Z is being developed for spacecraft Zond. This modification represents a spectrometer with wide field of view (100 degrees). It also has aperture ratio higher than Ozonometer-TM does. Spectrometer Ozonometer-Z consists of two channels: UV-channel (300–400 nm) and VIS-channel (400–800 nm). Unlike Ozonometer-TM, which is a pencil-beam spectrometer with one-point field of view, Ozonometer-Z is an imaging spectrometer having about 200 resolving points across motion pass. Accordingly, instead of linear detector used in Ozonometer-TM, we plan to install a CCD-matrix in Ozonometer-Z. The calculated spectral resolution is 0.3 nm in the UV-channel and 0.5 nm in the VIS-channel. Up to now, optical design of both channels has been developed.

We acknowledge FSF #16-12-10453 for the support in this work.

1. Gatchin, Y.A., Krasavtsev V.M., Tchikov K.N., Dobrolenskiy Y.S. Polychromator for remote sensing and monitoring of total ozone in Earth atmosphere // Bull. Comp. Inform. Techn. 2011. No 12. P. 30–33 (in Russian).
2. Dobrolenskiy Y.S., Ionov D.V., Korablev O.I., et al. Development of a space-borne spectrometer to monitor atmospheric ozone // Applied Optics. 2015. Vol. 54, No 11. P. 3315–3322.

Об отечественных достижениях теории переноса излучения (к 60-летию запуска первого ИСЗ)

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru)

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

Доклад посвящается 60-летию запуска ПЕРВОГО искусственного спутника ЗЕМЛИ (ИСЗ) 4 октября 1957 года и памяти Главного Теоретика Космонавтики [1, 2], Президента Академии Наук СССР (19.05.1961–19.05.1975 гг.), академика с 30.11.1946, математика-легенды Мстислава Всеволодовича Келдыша (10.02.1911–24.06.1978 гг.). Келдыш – единственный из математиков трижды Герой Социалистического Труда, который вместе с академиком Андреем Николаевичем Тихоновым, дважды Героем Социалистического Труда, в 1953 году создал ПЕРВЫЙ в мире Институт прикладной математики для выполнения «атомного» и «космического» проектов с применением ЭВМ. Именно в Институте Келдыша на ЭВМ «Стрела» был осуществлен баллистический расчет запуска ИСЗ и полета Ю.А. Гагарина. Это было начало не только космической эпохи, но и старт «цифровой цивилизации XXI-го века».

Главное – обратить внимание специалистов на становление и развитие научного направления, связанного с приложениями математики и "computer science" в космических проектах и исследованиях, проблемах дистанционного зондирования Земли, эволюции

окружающей среды и климата Земли, где ключевую роль играет теория переноса излучения, и особо отметить достижения отечественных ученых на заре космической эры [3–15].

Работа поддерживается грантами РФФИ (проекты № 15-01-00783, № 17-01-00220) и проектом ОМН-3(3.5) ПФНИ РАН.

1. 4 октября 1957 года начало космической эры. Первая космическая / Сборник статей, посвященных пятидесятилетнему юбилею запуска Первого искусственного спутника Земли. – Москва: ИКИ РАН, ООО «Регион Инвест». 2007. 169 с.
2. Келдыш М.В. Творческий портрет по воспоминаниям современников. М.: Наука. 2001. 398 с.
3. Кузнецов Е.С. Избранные научные труды (в связи со 100-летием со дня рождения) / Ответ. редактор и составитель Сушкевич Т.А. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. 784 с.
4. Владимиров В.С. Математические задачи односкоростной теории переноса частиц // Труды МИАН им. В.А. Стеклова. Вып. LXI (61). – М.: Изд-во АН СССР. 1961. 158 с.
5. Марчук Г.И. Численные методы расчета ядерных реакторов. – М.: Атомиздат. 1958. 381 с.
6. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2005. 661 с.
7. Малкевич М.С. Оптические исследования атмосферы со спутников. – М.: Наука. 1973. 303 с.
8. Амбарцумян В.А. Теория рассеяния света // Научные труды. Т. I. – Ереван: Изд-во АН АрмССР. 1960. С. 169–290.
9. Соболев В.В. Перенос лучистой энергии в атмосферах звезд и планет. – М.: Изд-во ГИТТЛ. 1956. 391 с.
10. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. – М.-Л.: Гостехиздат. 1961. 288 с.
11. Соболев В.В. Рассеяние света в планетных атмосферах. – М.: Наука. 1972. 335 с.
12. Минин И.Н. Теория переноса излучения в атмосферах планет. – М.: Наука. 1988. 264 с.
13. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А., Дарбинян Р.А. Решение прямых и некоторых обратных задач атмосферной оптики методом Монте-Карло. – Новосибирск: Наука. 1968. 100 с.
14. Смоктий О.И. Моделирование полей излучения в задачах космической спектрофотометрии / АН СССР. Ин-т информатики и автоматизации (Ленинград). – Л.: Наука. 1986. 352 с.
15. Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. Термическое зондирование атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат. 1970. 410 с.

About domestic achievements of the radiation transfer theory (the 60th anniversary of the launch of the first «sputnik»)

T.A. Sushkevich (tamaras@keldysh.ru)
Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia

The report is dedicated to the 60th anniversary of the launch of the FIRST artificial «sputnik» of EARTH on October 4, 1957 and memory of the Chief Theoretician of Cosmonautics, President of the Academy of Sciences of the USSR (19.05.1961–19.05.1975), academician with 30.11.1946, mathematics legend Mstislav Vsevolodovich Keldysh (10.02.1911–24.06.1978). M.V. Keldysh is the only of mathematicians three times Hero of Socialist Labor, who, along with academician Andrei Nikolaevich Tikhonov, twice Hero of Socialist Labor, in 1953 created the world's FIRST Institute of Applied Mathematics, to carry out «atomic» and «space» projects with the use of computers. In the Keldysh Institute on the computer «Strela» the ballistic calculation of the launching of «sputnik» and the flight of Yuri Gagarin was carried out. It was not only the beginning of the space era, but the start of «the digital civilization of XXI century».

The main thing – to draw the attention on the formation and development of a scientific direction associated with the applications of the mathematics and «computer science» in space projects and research, remote sensing of the Earth, evolution of the environment and climate of the Earth, where the key role is played by the radiation transfer theory, and to highlight the achievements of Russian scientists at the dawn of the space age.

The reported study was funded by RFBR according to the research projects 15-01-00783, 17-01-00220 and by project OMN-3(3.5) PFNR RAS.

Разработка алгоритмов определения распределения метана в атмосфере из спектров спутникового радиометра IASI/METOP

Хаматнурова М.Ю., Грибанов К.Г., Захаров В.И. (v.zakharov@remotesensing.ru)
Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, ул. Ленина 51, 620083 Екатеринбург, Россия

Разработан алгоритм определения распределения метана в атмосфере из спектров радиометра IASI на борту европейского спутника METOP. В работе исследована возможность использования метода Левенберга-Марквардта для определения полного содержания метана в атмосферном столбе из спектров радиометра IASI на борту европейского метеорологического спутника METOP, модифицированного для случая отсутствия априорной информации в виде ковариационных матриц вертикальных профилей метана. Метод и алгоритм определения параметра метода Левенберга-Марквардта реализованы программно вместе с технологией определения апостериорной матрицы ошибок решения и ядра усреднения для каждого спектра, что позволяет осуществлять отбор приемлемых результатов на основе свойств данных матриц.

В работе представлены результаты, полученные с помощью модифицированного метода Левенберга-Марквардта, для задачи восстановления профиля метана, где в качестве начального приближения использовались данные ретроспективного анализа NCEP, предоставляемые лабораторией исследования земной системы (ESRL), NOAA, Боулдер, США. Сравнение результатов со стандартными продуктами сенсора IASI по полному содержанию метана, полученному из тех же спектров, продемонстрировало их удовлетворительное согласие.

The development of algorithms for retrieving the methane distribution from IASI/METOP spectra

M.Yu. Khamtnurova, K.G. Gribanov, V.I. Zakharov (v.zakharov@remotesensing.ru)
B.N. Eltsyn Ural Federal University, 51 pr. Lenina, 620083 Ekaterinburg, Russia

The algorithm for retrieving the methane distribution in atmosphere from IASI spectra has been developed. The feasibility of Levenberg-Marquardt method use for retrieving the methane total column amount from the IASI/METOP spectra modified for the case of inaccessibility of a priori covariance matrices for methane vertical profiles is studied in this paper. Method and algorithm were implemented into software package together with iterative evaluation of a posteriori covariance matrices and averaging kernels for each individual retrieval. This allows retrieval quality selection using the properties of both types of matrices.

Methane (XCH_4) retrieval by Levenberg-Marquardt method from IASI/METOP spectra is presented in this work. NCEP/NCAR reanalysis data provided by ESRL (NOAA, Boulder, USA) were taken as initial guess. Surface temperature, air temperature and humidity vertical profiles are retrieved before methane vertical profile retrieval. Comparison of retrieved results with standard methane products of IASI retrieved from the same spectra demonstrates their satisfactory agreement.

Unique thermal infrared Venus spectra-safed from the Venera 15 Mission

Wolfgang Dohler[1], Dietrich Spankuch[1,2,3], and Dieter Oertel[4]
[1]*formerly at Meteorologischer Dienst der DDR, Berlin, Germany*
[2]*formerly also at Deutscher Wetterdienst (DWD), Berlin, Germany*
[3]*Leibniz-Sozietat der Wissenschaften zu Berlin e.V., Langenbeck-Virchow-Haus Luisenstr. 58/59 10117 Berlin, Germany*
[4]*formerly at Institut fur Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin, Germany*

On October 1983 the Fourier spectrometer FS-1/4 aboard the Soviet Venera-15 spacecraft started its campaign (e.g., [1, 2]) to remotely sense the Venusian middle atmosphere by means of

continuous spectra in the 250 to 1600 cm^{-1} (6.25–40 μm) spectral region. All in all, about 1800 spectra with a spectral resolution of 7.5 cm^{-1} were obtained from which 1137 could be saved in the last existing archive in Germany. This data archive is unique insofar as there are no other measurements of that kind up to now. Future Venus missions may use and hark back to this IR spectra data archive. The paper gives an overview of the mission, the instrument, the archive, and the results obtained with emphasis on some problems that need further research.

1. Oertel D., D. Spänkuch, H. Jahn, et al. Infrared spectrometry of Venus from Venera-15 and Venera-16 // Adv. Space Res. 1985. Vol. 5, No. 9. P. 25–36.
2. Oertel, D. et al. Infrared experiment aboard the automatic stations Venera 15 and Venera 16 / In: Middle Atmosphere of Venus (Eds. K. Schafer and D. Spankuch) Veroffentlichungen des Forschungsbereichs Geo- und Kosmoswissenschaften der AdW der DDR, Heft 18. 1990. P. 9–26

Сопоставления спутниковых измерений спектров уходящего теплового излучения 1970-х и 2015–2016 гг.

Тимофеев Ю.М.[1] (y.timofeev@spbu.ru), Поляков А.В.[1], Козлов Д.А.[2], Козлов И.А.[2], Делер В.[3], Шпенкух Д.[4], Ортель Д.[5]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург-Петродворец, Россия*

[2]*Исследовательский центр им. М.В. Келдыша, Онежская 8, 125438 Москва, Россия*

[3]*formerly at Meteorologischer Dienst der DDR, Berlin, Germany*

[4]*Leibniz-Sozietat der Wissenschaften zu Berlin e.V., Langenbeck-Virchow-Haus Luisenstr. 58/59 10117 Berlin, Germany*

[5]*formerly at Institut fur Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin, Germany*

Сравнения спектров уходящего теплового ИК излучения, измеренных в разные десятилетия, дают возможность изучать климатические изменения как самого уходящего излучения, так и физических и химических характеристик атмосферы и поверхности.

В докладе анализируются измерения уходящего теплового излучения системы «атмосфера–подстилающая поверхность», выполненные со спутников «Метеор» в 1977–1979 гг. со средним спектральным разрешением (5 $см^{-1}$) в области спектра 7–15 мкм приборами SI-1 и SI-2 и в 2015–2017 гг. прибором ИКФС-2. Разработаны различные методики приведения спектров, измеренных с высоким спектральным разрешением (ИКФС-2), к параметрам приборов SI-1 и SI-2. Анализируются особенности изменений характеристик уходящего излучения за 40 лет в различных областях спектра. Приведены результаты расчетов уходящего излучения на основе данных радиозондирования для различных периодов наблюдений и различных приборов.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант 17-05-00768 А).

Comparison of satellite measurements of outgoing thermal radiation spectra of the 1970th and 2015–2016

Yu.M. Timofeev[1] (y.timofeev@spbu.ru), A.V. Polyakov[1], D.A. Kozlov[2], I.A. Kozlov[2], Wolfgang Dohler[3], Dietrich Spankuch[4], and Dieter Oertel[5]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*Keldysh Research Center, 8 Onezhskaya, 125438, Moscow, Russia*

3formerly at Meteorologischer Dienst der DDR, Berlin, Germany

[4]*Leibniz-Sozietat der Wissenschaften zu Berlin e.V., Langenbeck-Virchow-Haus Luisenstr. 58/59 10117 Berlin, Germany*

[5]*formerly at Institut fur Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin, Germany*

Comparisons of IR outgoing thermal radiation spectra measured in different decades give the chance to study climatic changes not only in the outgoing radiation but also in physical and chemical characteristics of the atmosphere and surface.

In the report measurements of the "atmosphere–underlying surface" system executed in the 7–15 μm spectral range with the average spectral resolution (5 cm^{-1}) by SI-1 and SI-2 devices from the Meteor satellites in 1977–1979 and by IRFS-2 spectometer in 2015–2017 are analyzed. Various techniques for reducing the spectra measured with high spectral resolution (IRFS-2) to parameters of SI-1 and SI-2 devices are developed. Features of changes of characteristics of outgoing radiation in 40 years in various spectral ranges are analyzed. Results of calculations of outgoing radiation using radiosonde data are given for various observation periods and devices.

Studies are supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 17-05-00768 A).

Возможности исследований состава атмосферы и изменений климата Земли на основе затменных измерений в УФ, ВИД, БИК и средней ИК областях спектра (космический эксперимент «Климат» на Российском сегменте МКС)

Бойко В.А.[1] (boiko@geofizika-cosmos.ru), Дергаус Е.В.[1], Криволапова О.Ю.[2], Коношенко В.П.[2], Поберовский А.В.[3], Тимофеев Ю.М.[3], Поляков А.В.[3] (a.v.polyakov@spbu.ru)

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

[2]*РКК «Энергия», МО, ул. Ленина 4а, 141070 Королёв Моск. обл., Россия*

3Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Проанализированы различные методы космических измерений климатически важных малых газовых составляющих (МГС) земной атмосферы. Показаны преимущества и недостатки затменного спутникового метода. Рассмотрены проведенные ранее и современные космические приборы затменного метода прозрачности (эксперименты «ATMOS», «SAGE-3», «Озон-МИР», ACE-FTS и др.).

Представлены возможные направления разработки российской аппаратуры в УФ, ВИД, БИК, ИК областях спектра и ее основные характеристики. В частности, представлена создаваемая в настоящее время научная аппаратура (НА) «Климат» в составе ИК-Фурье-спектрорадиометра высокого спектрального разрешения (спектральный диапазон 3.5–14.5 мкм; спектральное разрешение 0.01–0.02 $см^{-1}$) и многоканальной спектральной системы (спектральный диапазон 280–1050 нм, спектральное разрешение 1–2 нм). НА «Климат» предназначена для размещения на Российском сегменте МКС и реализации в 2020–2022 гг. космического эксперимента «Климат». Рассматриваются вопросы интеграции НА в состав МКС, в том числе, обеспечения требуемых погрешностей позиционирования линии визирования НА на исследуемых областях атмосферы Земли в условиях рефракции.

Обсуждаются важнейшие особенности физико-математических основ методики интерпретации космических измерений – некорректность решения обратной задачи, качество исходной спектроскопической информации, методы высотной привязки измерений, возможности оптического определения вертикальных профилей температуры и плотности атмосферы и т.д.

Possibilities of studying the Earth atmospheric composition and climate changes using occultation measurements in UV, VIS, near- and middle-IR spectral ranges (a space experiment "Climate" on the Russian ISS segment)

V.A. Boiko[1] (boiko@geofizika-cosmos.ru), E.V. Dergaus[1], O.Yu. Krivolapova[2], V.P. Konoshenko[2], A.V. Poberovskii[3], Yu.M. Timofeev[3], A.V. Polyakov[3] (a.v.polyakov@spbu.ru)

[1]*Scientific and Production Enterprise "Geofisika-Kosmos", 11/1 Irkutskaya str., 107497 Moscow, Russia*
[2]*S.P. Korolev Rocket and Space Corporation "Energia", 4a Lenina str., 141070 Korolev Moscow Reg., Russia*
[3]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

Various methods of space measurements of atmospheric essential minor gases are analysed. Advantages and shortcomings of satellite occultation sounding are shown. Earlier and modern space devices for occultation transmittance method are outlined (experiments of "ATMOS", "SAGE-3", "Ozon-MIR", ACE-FTS, etc.).

The possible directions for developing the Russian equipment in UV, VIS, near- and middle-IR spectral ranges and its main characteristics are presented. In particular, the scientific equipment (SE)"Climate" created now as a part of IR-Fourier-spectroradiometer with high spectral resolution (the spectral range of 3.5–14.5μm; spectral resolution is 0.01–0.02 cm^{-1}) and the multichannel spectral system (spectral range is 280–1050 nm, spectral resolution is 1–2 nm) is presented. SE "Climate" is intended for placing on the Russian ISS segment and performing the space experiment "Climate" in 2020–2022. Problems of SE integration in the ISS structure including the providing of required quality for positioning the SE vising line under refraction are considered.

The most important features of physical and mathematical foundation of the technique for interpreting space measurements – solution of ill-posed inverse problems, quality of initial spectroscopic information, methods of vertical reference of measurements, possibilities of optical definition of vertical profiles of temperature and density of the atmosphere, etc. – are discussed.

Оценки суточных сумм осадков по данным МСУ-МР с полярно-орбитального КА Метеор-М №2 для Центрально-Черноземного региона Европейской территории России

Волкова Е.В. (quantocosa@bk.ru)

НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Сведения о накопленных за некоторый период времени суммах осадков полезны для оценки влагозапасов почвы, стока вод с территории, условий вегетации и т.д. Наземные метеонаблюдения за осадками, как правило, дискретны в пространстве и во времени. Спутниковые наблюдения способны существенно дополнить, а в регионах с редкой осадкомерной сетью – заменить недостающие данные.

Автором в НИЦ «Планета» разработана Комплексная Пороговая Методика (КПМ) автоматического определения параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды в круглосуточном режиме по данным МСУ-МР с полярно-орбитального КА Метеор-М №2. В качестве предикторов в КПМ помимо спутниковых измерений радиационной температуры в каналах 3.7, 11 и 12 мкм используются данные прогноза вертикальных профилей температуры воздуха и давления на уровне моря, информация о высоте места над уровнем моря, а также параметры облачного покрова и осадков, рассчитанные на предыдущих этапах классификации. КПМ в т.ч. детектирует зоны осадков и определяет значения максимальной в пределах пиксела спутникового изображения мгновенной интенсивности осадков, по которым в дальнейшем возможно оценивать суточные суммы ($\sum I_{сут}$). Для этого по серии спутниковых наблюдений в течение суток рассчитывается средняя за сутки интенсивность осадков, которая затем нормируется на эмпирически подобранный коэффициент. Возможны 2 варианта расчёта этого коэффициента.

«Климатический» вариант методики использует коэффициенты-константы, полученные для каждого месяца и года по той же самой выборке, для которой предполагается рассчитывать значения $\sum I_{сут}$ При этом используются результаты наземных наблюдений за $\sum I_{сут}$ за этот же период времени и метод наименьших квадратов. При сопоставлении спутниковых оценок $\sum I_{сут}$ с наземными получается dev ~ 0 мм. Значения СКО минимальны в холодный период года (в среднем за месяц по всем метеостанциям менее 4 мм) и растут в тёплый период (для отдельных месяцев до 8.5 мм в среднем по всем метеостанциям и до 15–16 мм для отдельных метеостанций в среднем за месяц). Однако для некоторых метеостанций и отдельных дней летом значения |dev| могут превышать 50 мм. Большие ошибки в тёплый период года связаны с большей интенсивностью осадков в это время, а также с их большой локальностью и малой продолжительностью. В холодный период года абсолютные ошибки оценок $\sum I_{сут}$ меньше, чем летом, т.к. зоны осадков имеют большую площадь и продолжительность, а также большую однородность выпадения осадков в пределах зоны осадков и, в целом, меньшую интенсивность. Этот вариант методики неудобен тем, что сильно зависит от данных наземных наблюдений, кроме того, необходимо ждать окончания расчётного периода длиной в месяц, поэтому метод не может использоваться для оперативных оценок $\sum I_{сут}$.

Другой вариант методики – «оперативный» – использует «динамический» коэффициент, который зависит от номера календарного дня и непрерывно меняется в течение года. Спутниковые оценки $\sum I_{сут}$ с использованием динамического коэффициента обычно получаются несколько хуже при сравнении с наземными наблюдениями на станциях и с «климатическим» вариантом методики. Однако визуальный анализ больших фрагментов классифицированных спутниковых изображений показывает, что для предварительных оценок сумм осадков, особенно за периоды времени больше суток и в целом по региону, этот метод вполне пригоден, т.к. не зависит от дополнительной информации в виде данных наземных наблюдений о $\sum I_{сут}$ и позволяет оперативно оценить степень увлажнения территории за прошедшие сутки уже через несколько минут по окончании расчётных суток.

Исследования на примере архива синхронных спутниковых и наземных наблюдений за $\sum I_{сут}$ для Центрально-Черноземного региона ЕТР показывают, что рассчитанные с помощью 2х вариантов методики значения суточных, месячных и годовых сумм осадков хорошо согласуются с результатами наземных наблюдений и климатическими оценками и отражают общую тенденцию выпадения осадков на исследуемой территории за рассматриваемый временной период. В целом, чем больше период времени и размеры территории, для которых производятся оценки сумм осадков по данным МСУ-МР/Метеор, тем лучше эти оценки согласуются с наземными измерениями. Получение сведений о $\sum I_{сут}$ по спутниковым данным в режиме реального времени позволяет не только анализировать, но и прогнозировать режим увлажнения обширных территорий с помощью соответствующих моделей водного баланса.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований – грант № 16-05-01097.

Estimation of daily precipitation from the MSU-MR/Meteor-M №2 data for the Central Black Earth Region of the European Russia

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

Information on precipitation amount is necessary for estimations of soil water content (useful for assessment of water availability of the territory or preliminary harvest forecast), vegetation and humidity conditions at considered areas, for monitoring floods, droughts and fires, etc. Unfortunately ground precipitation observations can’t cover many regions of the world (oceans, mountains, deserts, jungles and others). So, satellite information on precipitation is able to add or even substitute such data for the territory with the rare gauge net.

The Complex Threshold Method (CTM) of the automatic pixel-by-pixel classification of MSU-MR imager's data from the Russian polar-orbiting satellite Meteor-M №2 is developed by the author for detecting cloud mask and determining cloud parameters, precipitation and weather hazard zones of various intensity for day and night under all year round conditions for the European territory of Russia (ETR) and nearby countries (including low mountains, water and snow/ice surfaces). The method utilizes satellite observations (brightness temperatures at 3.7, 11 and 12 µm, and their differences) and the weather forecast of vertical air temperature and atmosphere pressure at the sea level distributions. The thresholds for the predictors are calculated by the empirically derived equations based on the solar height, the calendar date, the height of the place above the sea level, etc. Cloud and precipitation parameters determined by the CTM on the previous steps are also included in the further classification.

The method was tested on the satellite, climatologic and ground-based meteorological dataset archived for the region 46–63°N, 20–51°E in 2015–2016. The assessments of all derived cloud parameters show a good correlation with the average climatologic estimations as well as with meteorological cloud and precipitation ground-based observations and also similar satellite production when using the CTM adapted by the author to AVHRR/NOAA and SEVIRI/Meteosat-10 data for the same territory. Among others the CTM derives the pixel maximum instant precipitation rate. Then utilizing the daily set of satellite images the average daily precipitation rate is calculated, and being multiplied by the empirically determined coefficient, produces the daily precipitation amount (DPA). The author suggests two approaches to obtaining the coefficient – for the purposes of climatic researches and for weather monitoring.

The "climatic" coefficient-constant is retrieved for the same monthly satellite data set employing ground-based observations of DPA. This method demonstrates the best precision (monthly-averaged mean deviations dev ~ 0 mm) when comparing the results with the data from 48 gauges in the Central Black Earth Region of the European Russia. RMSE (Root Mean Square Error) is minimal during winter (monthly rms ≤ 4 mm) and increases in summer (up to 8.5 mm for certain months averaged over 48 gauges and up to 15–16 mm for individual gauges averaged over a month period). Daily |dev| for certain meteorological stations can sometimes exceed 50 mm. Most errors, when summer, occur due to higher precipitation rate, smaller precipitation zone and less duration of rainfall at that time. When winter, less meanings of |dev| and RMSE are obtained because of larger precipitation zones and duration of snowfall, greater homogeneity of precipitation rate within precipitation zones and less precipitation rate.

The "climatic" method apart from its high accuracy has the main shortcoming because of the necessity of possessing ground-measured DPAs. The "prompt" approach uses the continuously changing "dynamic" coefficient which relies on the calendar number of the day during the year (the author proposes an empirically derived equation). Application of this method though lacks accuracy however allows retrieving DPAs quite immediately. The visual control of classified satellite images allows preliminary estimating precipitation amounts, especially for vast territories and long time intervals, with quite satisfactory precision.

The author's assessments of computed daily, monthly and yearly precipitation amounts for the region of interest by the both approaches show a good correlation with meteorological observations (from gauges) and climatologic estimations and demonstrate general tendency of water distribution over the territory. On the whole, the more are the time interval and the size of the territory the higher is the accuracy of satellite precipitation amounts. For small areas and short intervals satellite estimations may fail in precision and can demonstrate lower correlation with gauge data because of the inhomogeneous distribution of satellite observations during the day. The author suggests that the satellite-derived daily, monthly and yearly fields of precipitation amounts can be efficiently used for both visual in situ monitoring and climatic researches and also for utilizing in the Land Surface Models for calculating and predicting humidity conditions for vast territories.

The present study was carried out with support of the Russian Foundation of Basic Researches (grant № 16-05-01097).

Биооптический алгоритм восстановления параметров качества воды для оптически мелких вод озера Мичиган

Моисеев А.В. (artem.moiseev@niersc.spb.ru), Коросов А.А., Поздняков Д.В., Шухман Р.
НФ «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», 14-я линия В.О. 7, бизнес-центр «Преображенский», оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Озеро Мичиган относится к типу олиготрофных водоемов. Сильнее всего это проявляется в прибрежной зоне, где гидрологический режим вод формируется под действием различных природных и антропогенных факторов, протекающих на водосборной территории. Оптическое влияние дна достаточно сильно искажает регистрируемый спутником сигнал, препятствуя выполнению дистанционного зондирования параметров качества воды в этой части озера.

Для извлечения из спутниковых снимков параметров качества воды в оптически мелких районах озера Мичиган, был разработан новый биооптический алгоритм. Он основан на модели прямого переноса излучения, гидрооптической модели озера Мичиган и применении метода многомерной оптимизации, и позволяет получать оценку концентрации всех основных оптически активных веществ (ОАВ) в областях с различным типом дна: песок, ил, макрофиты (Chara или Cladophora) и известняковая галька.

Для тестирования чувствительности алгоритма были использованы данные с датчика MODIS-Aqua, которые были синхронизированы с измерениями типа и глубины дна, а также радиометрическими измерениями выполненными in situ. В результате были получены реалистичные значения величины отражения при дистанционном зондировании и концентраций ОАВ для глубин (от 2 до 15 метров в зависимости от концентрации ОАВ и типа дна), на которых сохраняется влияние отражения от дна. Применение разработанного инструмента для обработки данных с датчика MODIS-Aqua показало его преимущество над алгоритмом OC4 в озерных оптически мелких вод.

Bio-optical retrieval algorithm for the optically shallow waters of Lake Michigan

A.V. Moiseev (artem.moiseev@niersc.spb.ru), A.A. Korosov, D.V. Pozdnyakov, R. Shukhman
Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line Vasilievsky Island, Office 49, 199034 Saint-Petersburg, Russia

With the exception of a few areas, Lake Michigan (LM) is an oligotrophic clear water body. It is predominantly in its littoral zone where ecology-relevant processes unfold due to a variety of natural and anthropogenic forcings arising from the watershed. However, the bottom influence is strong enough to contaminate the at-satellite signal, thus impeding the remote sensing of water quality parameters within the coastal zone.

A new bio-optical retrieval algorithm, based on a forward radiation transfer model, LM specific hydro-optical model and the multivariate optimization technique is developed for operational retrieval from satellite data of water quality parameters in lake’s optically shallow areas. The retrieval output encompasses the concentrations of major Color Producing Agents (CPAs), viz. phytoplankton chlorophyll, total suspended matter and yellow substance for a variety of cover types: sand, silt, stands of Chara, and Cladophora, and limestone pebble.

The sensitivity of both forward and inverse models was tested for hydro-optical conditions inherent in LM. MODIS-Aqua satellite data acquisitions for determining CPA concentrations were synchronized with in situ radiometric measurements, as well as identification of bottom type and depth. Retrieved data were realistic values of spectral signatures of subsurface remote sensing reflectance and CPA concentrations within the ranges of depth (2–15 m depending on the CPA concentration vector and bottom type), at which the bottom optical impact was detectable. Application of the developed operational tool to processing MODIS-Aqua data (matching up the

location and timing of in situ CPA and radiometric measurements) has convincingly shown its advantage over the OC4 performance in lacustrine optically shallow waters at all sampling stations.

Определение температуры подстилающей поверхности по данным МСУ-МР/Метеор-М №2 на примере Центрально-Черноземного региона ЕТР

Волкова Е.В.[1] (quantocosa@bk.ru), Музылев Е.Л.[2] (muzylev@iwp.ru), Старцева З.П.[2]
[1]*НИЦ космической гидрометеорологии "Планета" Росгидромета, Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия*
[2]*Институт водных проблем РАН, ул. Губкина 3, 119333 Москва, Россия*

Спутниковая информация о температуре подстилающей поверхности (ТПП) трех типов – температуре почвы T_s и воздуха у поверхности растительного покрова T_a, принимаемой за температуру растительности, а также об эффективной температуре подстилающей поверхности (ПП) T_e – дополняет, а нередко и заменяет дискретные данные наземных наблюдений на агрометеостанциях, используемые при решении гидрологических, агрометеорологических, климатических задач и задач мониторинга, в том числе при моделировании водного режима, засух, пожаров.

Е.В. Волковой предложен простой с вычислительной точки зрения алгоритм расчёта значений T_s, T_a и T_e по данным измерений МСУ-МР с полярно-орбитального КА Метеор-М №2 в каналах 11 и 12 мкм (T_{11}, T_{12}) для безоблачных пикселов, которые автоматически детектируются с помощью разработанной ею в НИЦ "Планета»" Комплексной Пороговой Методики (КПМ). Значения T_s и T_a восстанавливаются методом GSW (Generalized Split-Window) по измеренной со спутника радиационной температуре T_{11} и T_{12}. Влияние таких параметров, как собственное излучение ПП (зависящее от типа поверхности, степени её увлажнения, температуры и др.), а также поглощение и встречное излучение атмосферы (зависящее от вертикального распределения температуры, влажности, содержания аэрозоля и др.) косвенно учитывается через предиктор T_{11}–T_{12} и эмпирически подобранные коэффициенты. Методика разработана автором в двух вариантах – "климатическом" и "оперативном". В "климатическом" варианте коэффициенты-константы рассчитываются по трехчасовым временным интервалам для каждого месяца и года по методу наименьших квадратов при использовании данных наземных измерений T_s и T_a на метеостанциях по той же самой выборке, для которой производятся спутниковые оценки температуры. Для 48 агрометеостанций ЦЧР среднемесячные средние отклонения спутниковых оценок температуры от наземных (dev) были очень близки к 0° С, а среднеквадратические отклонения (СКО) оказались равными 2–3° С. Однако для отдельных сроков наблюдений значения dev для T_s, T_a и T_e летом могут достигать 10° С днём и 5° С ночью, а зимой – 15° С (для T_s и 20° С). Основным недостатком описанного метода является требование наличия архива данных наземных наблюдений за T_a и T_s, синхронных спутниковым, и необходимость ожидания конца временного интервала, для которого выполняются спутниковые оценки. В "оперативном" варианте используются коэффициенты, построенные с помощью эмпирических зависимостей от высоты солнца, номера календарного дня и времени суток. При этом точность оценок T_s, T_a и T_e несколько ниже их точности в "климатическом" варианте. Так, среднемесячные значения dev часто достигают ±1° К, а СКО ≈ 3–4.5° К. Однако данный метод позволяет не зависеть от наземных измерений T_s и T_a и рассчитывать температуру для любого срока спутникового наблюдения сразу же после поступления информации МСУ-МР/Метеор в базу данных.

Наши исследования показали, что для Центрально-Черноземного региона предложенная методика применима для оценки температур в круглосуточном и круглогодичном режиме при обеспечении точности, соответствующей требованиям потребителей к производимым выходным продуктам. Для обоих вариантов методики наибольшее количество ошибок приходится на лето (вследствие резких перепадов

температур в пределах пиксела, обусловленных присутствием теней от облаков и крупных объектов, наличием небольших холодных водоёмов, перегретых крыш, дорог и пр.) и зиму (из-за неточного восстановления облачной маски, при этом количество пикселов, содержащих ошибки детектирования, может достигать 25 % от общего числа пикселов спутникового изображения).

Корректность построенных с помощью КПМ по данным МСУ-МР/Метеор-М №2 оценок T_s, T_a и T_e проверялась также путем сравнения их значений для сезонов вегетации 2015–2016 гг. с аналогичными значениями ТПП, полученными при тематической обработке данных измерений AVHRR/NOAA и SEVIRI/Meteosat-10, а также при расчетах с помощью физико-математической модели взаимодействия подстилающей поверхности с атмосферой (LSM, Land Surface Model) при использовании наземных и спутниковых данных о температурах. Такие сравнения проводились путем сопоставления для каждого из сезонов вегетации временных ходов названных температур на 48 агрометеостанциях исследуемого региона, а также распределений по его площади полученных оценок всех этих температур на конкретные даты данных сезонов. Для подавляющего числа оценок разности значений T_s, T_a и T_e, определенных по данным Метеор-М №2, и аналогичных значений температур, полученных по данным NOAA и Meteosat-10, а также рассчитанных с помощью модели, не превышали СКО оценок T_s, T_a и T_e по данным AVHRR. Проверка точности оценок ТПП по данным МСУ-МР/Метеор-М №2 производилась также косвенным путем – при использовании значений этих температур в качестве входных переменных LSM при расчетах характеристик водного режима исследуемой территории. Сравнение рассчитанных по модели значений суммарного испарения и влагозапасов почвы с измеренными на ряде агрометестанций региона показало, что их расхождения находятся в допустимых пределах, что также свидетельствует об адекватности построенных с помощью КПМ оценок ТПП.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований – грант № 16-05-01097.

Estimation of land surface temperature from the MSU-MR/Meteor-M №2 data for the Central Black Earth Region of the European Russia

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

Satellite information on land surface temperature (LST) of three types (soil temperature T_s, air temperature at the plant level T_a assumed for vegetation temperature and effective land surface temperature T_e) can add or occasionally substitute ground-based observations at agricultural meteorological stations when utilizing for hydrological, agro-meteorological and climatologic investigations and for monitoring land surface including modeling water regime, droughts, fires.

E.V.Volkova proposed the simple (from a computational point of view) algorithm to calculate T_s, T_a and T_e using MSU-MR data from the polar-orbiting satellite Meteor-M №2 in channels 5 and 6 at $\lambda = 11$ and 12 μm (T_{11}, T_{12}) for cloudless pixels which are automatically detected by the Complex Threshold Method (CTM) developed by Volkova at “Planeta”. T_s and T_a are derived with the help of the Generalized Split-Window method employing brightness temperature T_{11} and T_{12}. The influence on the results of such parameters as land surface radiation emission (which depends on the land surface type, its moistening, temperature, etc.), absorption and atmosphere radiation emission (which depend on the vertical air temperature distribution, the air humidity, the aerosol content, etc.) is indirectly taken into account through predictor T_{11}–T_{12} and empirical coefficients. Volkova suggests two approaches of the CTM named “climatic” and “prompt”. In the "climatic" version, the coefficients are constant within a month. They are calculated for three-hour time intervals for each month and year with the help of the least squares method when using T_s and T_a ground-measured at meteorological stations for the same sample for which satellite temperature estimates are produced. For 48 agricultural meteorological stations of the Central Black Earth

Region of the European Russia, monthly-averaged mean deviations (Dev) of satellite-derived estimates from ground-measured values are very close to 0° C, and RMSE ≈ 2–3° C. However for some satellite measurements Dev for T_a, T_e and T_s increases up to 10° C by daytime and up to 5° C at night in summer, up to 15° C (for T_s up to 20° C) in winter. The main shortage of the method is a demand of possessing data of T_a and T_s ground measurements synchronous with satellite ones. The disadvantages also include the need to wait for the end of the time interval for which satellite estimates are performed.The "prompt" approach makes use of "dynamic" coefficients depending on the solar height, the calendar number and the time of the day. The method lacks accuracy of estimating LST in comparison with the "climatic" approach. So, Dev often reach ± 1° C and RMSE ≈ 3–4.5° C. But the method is independent from ground-based values of T_a and T_s and allows calculating the temperature immediately afterwards the satellite measurements.

Our investigations have shown that the proposed method for retrieving LST is efficient for the territory of interest for day-and-night producing LST throughout the year and quite satisfies the user demands to output products. For the both approaches of the method the most errors occur in summer (because of sudden changes in temperatures between cool shades of clouds and other objects, rather cold small water bodies and overheated roofs, roads, etc.) and winter (because of fails in cloud mask detection (the number of false classified pixels can reach 25 of the all satellite image pixels)).

The correctness of T_a, T_e and T_s estimates produced by the CTM from the MSU-MR/Meteor-M №2 data was tested for years 2015–2016 vegetation seasons when comparing with the same LST estimates extracted from AVHRR/NOAA and SEVIRI/Meteosat-10 data, and with the similar products obtained by the physical-mathematical Land Surface Model (LSM) utilizing ground-based and satellite-derived LST values. Such comparisons were carried out by collating time behaviors of the named temperatures at 48 agricultural meteorological stations of the region under consideration for each of the vegetation seasons. The distributions of the all obtained LST estimates over the region area were also compared for specific dates of these seasons. For the overwhelming number of estimates, the difference between the values of T_s, T_a and T_e, determined from Meteor-M №2 data and analogous values of the temperatures retrieved from the NOAA and Meteosat-10 data, and also calculated using the model, did not exceed the RMSE of the T_s, T_a and T_e estimates from the AVHRR data. The verification of the accuracy of the LST estimates from the MSU-MR/Meteor-M №2 data was also carried out indirectly, using these temperature values as the LSM input variables when calculating the characteristics of the water regime of the area under study. Comparison of modeled values of evapotranspiration and soil water content with those measured at a number of agricultural meteorological stations of the region has shown that their discrepancies are within acceptable limits. This also indicates the adequacy of the LST estimates produced by the CPM.

The present study was carried out with support of the Russian Foundation of Basic Researches (grant № 16-05-01097).

Определение общего содержания CO_2 в атмосфере методом частичного сканирования интерферограмм по данным фурье-спектрометра ИКФС-2

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

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

[2]*НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия*

Для дистанционного определения общего содержания углекислого газа в атмосфере (XCO_2) по данным измерений фурье-спектрометра ИКФС-2 (в составе КА «Метеор-М» № 2) предлагается использовать вариант известного метода частичного сканирования интерферограмм. Для спектра поглощения CO_2 характерна периодическая структура линий поглощения с периодом ≈ 1.5 см$^{-1}$, что приводит к наличию резонансных особенностей в

интерферограммах излучения атмосферы вблизи оптической разности хода 1/1.5 ≈ 0.66 см. При этом уровень шума в отсчетах разностного спектра, полученного по участку интерферограммы в диапазоне оптической разности хода (0.65–0.68) см$^{-1}$, снижается в ≈ 7.5 раз по сравнению с шумом в спектре ИКФС-2, полученном для интерферограммы во всем диапазоне изменения оптической разности хода от 0 до 1.7 см. Используемые спектральные каналы в разностном спектре выбираются из условия максимальной чувствительности к вариациям XCO_2 и малой чувствительности к априорной информации о векторе состояния атмосферы, в частности, к температуре подстилающей поверхности и её излучательной способности. Процедура определения XCO_2 для выбранного спектра безоблачной атмосферы, измеренного с помощью ИКФС-2, включает: 1) получение оценки вектора состояния атмосферы для выбранного пункта зондирования; 2) расчет модельных спектров атмосферы $r_м(\sigma)$ для заданных вектора состояния атмосферы и зенитного угла наблюдения с помощью быстрой радиационной модели при различных значениях X_{CO2} в диапазоне (320…420) ppmv с шагом 10 ppmv; 3) преобразование выборки модельных спектров $r_м(\sigma)$ в выборку разностных модельных спектров $d_м(\sigma)$; 4) построение линейных регрессионных зависимостей XCO_2 от значений разностных спектров $d_м(\sigma)$ для выбранных спектральных каналов σ_j; 5) преобразование измеренного спектра ИКФС-2 $r_и(\sigma)$ в разностный спектр $d_и(\sigma)$; 6) оценка XCO_2 по измерениям ИКФС-2 с использованием найденных для каналов σ_j регрессионных зависимостей. Согласно предварительным расчетам, погрешность среднемесячной оценки XCO_2 не превышает 1–2 % (при зондировании над водной поверхностью).

Application of Fourier transform spectroscopy with partially scanned interferograms to the retrieval of CO_2 total column amount from IKFS-2 data

D. Kozlov[1] (dima_kozlov@mail.ru), Yu. Golovin[1], F. Zavelevich[1], I. Kozlov[1], A. Uspensky[2], A. Rublev[2], A. Kukharsky[2]

[1]*Keldysh Research Center, 8 Onezhskaya, 125438 Moscow, Russia*

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

The technique of partially scanned Interferograms (FTS-PSI) is suggested to retrieve the carbon dioxide (CO_2) total column amount X_{CO2} from Infrared Fourier Transform Spectrometer IKFS-2 (Meteor-M2 satellite) observations. CO_2 spectrum rotation transitions are characterized by a pattern with a periodic structure of absorption lines with a period about 1.5 cm^{-1}. This periodic pattern determines a strong signature (coherent interference) in the interferogram domain at about 1/1.5 cm ≈ 0.66 cm. The standard deviation of noise in the difference spectrum for partial interferogram covering optical path difference (OPD) from 0.65 to 0.68 cm is reduced by a factor of ≈ 7.5, if compared to the noise in a whole IKFS-2 spectrum (the maximum OPD of IKFS-2 is 1.7 cm). The selection of channels in a difference spectrum should be performed based on the maximum sensitivity to the X_{CO2}, as well as minimum sensitivity to surface emissivity and temperature. The presented procedure to estimate the X_{CO2} from IKFS-2 measurements can be summarized as follows: 1) for a given IKFS-2 spectrum the atmospheric state vector is retrieved; 2) the radiative transfer calculations are performed for the state vector and a given zenith angle to get synthetic IKFS-2 spectra $r_s(\sigma)$ corresponding to different X_{CO2} in the range from 320 to 420 ppmv; 3) the synthetic IKFS-2 spectra $r_s(\sigma)$ are transformed to difference spectra $d_s(\sigma)$; 4) the linear regression models are developed for X_{CO2} with data in several spectral channels σ_j as predictors; 5) the observed $r_i(\sigma_j)$ values are converted to the difference spectrum $d_i(\sigma)$; 6) X_{CO2} is estimated from data at each channel σ_j using linear regression models. It is expected that the error for the monthly averaged X_{CO2} retrievals from IKFS-2 data using FTS-PSI technique to be less than (1–2) % for sea surface measurements.

Исследование крупномасштабных структур дрейфа льда в Арктическом бассейне на основе данных спутникового дистанционного зондирования

Мушта А.В. (chipichava@yandex.ru), Волков В.А., Демчев Д.М.
Научный фонд "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-я Линия В.О. д. 7, бизнес-центр «Преображенский» оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

В последние годы проблема глобального потепления вызывает большой интерес в значительной степени из-за уменьшения площади морского льда в Арктике и ее минимумов в 2007 и 2012 годах. Для объяснения этих колебаний было проведено исследование динамических факторов, влияющих на морской лед в Арктике. Динамические процессы воздействуют на структуру ледяного покрова, изменяют распределение льда в океане, его толщину и сплоченность.

На основе спутниковых данных и расчета полей дрейфующих льдов (1979−2016 гг.) нами были проведены исследования основных крупномасштабных структур дрейфа морского льда в Арктике: Трансарктического течения и Антициклонального круговорота. Эти элементы имеют временные циклы с преобладанием различных частот в евразийской и американской частях арктического бассейна. Интенсивность и положение Трансарктического течения и центр Антициклонального круговорота меняются из года в год, создавая условия для различного распределения и выноса льда. Структура циркуляции льда формируется под воздействием полей атмосферного давления и ветра над Северным Ледовитым океаном. Анализ преобладающих синоптических типов за каждый год позволил выделить типы, создающие условия для накопления льда (при отрицательных температурах), для выноса льда и для формирования феномена «ледовой оппозиции». Изменчивость дрейфа льда под влиянием глобальной циркуляции атмосферы играет важную роль в формировании условий, определяющих изменение площади морского льда и средней толщины льда в Северном Ледовитом океане.

Работа выполнена в рамках двухстороннего инициативного российско-норвежского проекта «Развитие системы мониторинга и прогнозирования морского льда для поддержки безопасной работы и навигации в арктических морях», проводимого при финансировании РФФИ и Исследовательского совета Норвегии, номер проекта РФФИ 15-55-20002.

Studies of large-scale structures of the Arctic sea ice drift based on data of satellite remote sensing

A.V. Mushta (chipichava@yandex.ru), V.A. Volkov, D.M. Demchev
[1]*Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 7 14th Line of Vasilievsky Island Office 49, 199034 Saint-Petersburg, Russia*

In the last years the problem of global warming has attracted great interest largely due to the Arctic sea ice area decreasing and its dramatical minimums in the 2007 and 2012. To explain these fluctuations was made a research of the dynamic factors influencing on the sea ice in the Arctic.

On the base of the satellite data and the ice drift fields calculation (1979−2016) we made a research of the core large-scale structures of the Arctic sea ice drift: Transpolar drift and Beaufort gyre. These elements have time cycles with a predominance of different frequencies in the Eurasian and Amerasian parts of the Arctic basin. The intensity and the position of the Transpolar drift and the center of the Beaufort gyre changing from year to year, creating the conditions for various ice distribution and ice removal. Different types of surface water and ice circulation is formed under the influence of atmospheric pressure and wind fields over the Arctic ocean. The survey of predominant synoptic types in each year led us to allocation of the types, that can create the conditions for ice accumulation (at an agreeable temperature range), for ice removal and for the sea ice opposition formation. The variability of the ice drift under the influence of the global atmospheric circulation

plays an important role in the formation of the conditions, that defines the changing of sea ice area and the average thickness of the ice in the Arctic Ocean.

The work was funded by NORRUS project conducted jointly by RFBR and RCN–SONARC (№15-55-20002).

Определение оптической толщины аэрозоля по измерениям сканера МСУ МР/МЕТЕОР-М №2

Рублев А.Н. (rublev@planet.iitp.ru), Зысина Н.Ю, Фролова Е.А.
НИЦ космической гидрометеорологии «Планета», Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Космические агентства США и ЕС в течение последних двадцати лет разрабатывают алгоритмы определения пространственных и оптических характеристик аэрозоля из космоса. Непосредственно используются данные многоканальных сканеров (AVHRR, MODIS, SEVIRI и др.), установленных на оперативных полярно-орбитальных (NOAA, MetOp, EOS/Aqua, Terra) и геостационарных (MSG) спутниках. В России спутниковый мониторинг аэрозоля отсутствует. Проводятся лишь наблюдения и картирование распространения облаков вулканического пепла и дыма от лесных пожаров без какого-либо определения их оптических и микрофизических характеристик.

В связи с этим в НИЦ «Планета» после успешного запуска в 2014 г. гидрометеорологического спутника «Метеор-М» №2 начата разработка алгоритма определения параметров атмосферного аэрозоля по данным 6-канального сканера МСУ-МР. Основным определяемым параметром является аэрозольная оптическая толщины (АОТ) для длины волны 500 нм. Оценка АОТ проводится с помощью линейных регрессий, связывающих измерения в каналах МСУ-МР над различными типами подстилающей поверхности с данными наземной сети AERONET (Aerosol Robotic Network). Для определения типа подстилающей поверхности используется специальная база данных: MODIS Land Cover Product (MCD12Q1).

Результаты сопоставления спутниковых оценок с измерениями AERONET в Северной Европе и Аравийском полуострове в 2015–2016 годах показали, что среднеквадратическая ошибка находится в пределах от 0.03 до 0.1 в зависимости, главным образом, от величины АОТ.

Determination of the aerosol optical depth from measurements of the MSU-MP (METEOR-M No. 2) scanner

A.N. Rublev (rublev@planet.iitp.ru), N.Yu. Zysina, E.A. Frolova
State Research Center of Space Hydrometeorology “Planeta”, 7 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia

Space agencies of the United States and the EU have developed algorithms for determining the spatial and optical characteristics of aerosols from outer space over the last twenty years. They used data from multichannel scanners (AVHRR, MODIS, SEVIRI, etc.) on board of the operational polar-orbiting (NOAA, MetOp, EOS / Aqua, Terra) and geostationary satellites. In Russia there is no satellite monitoring of aerosol. Only observations and mapping of the distribution of volcanic ash and smoke clouds from forest fires are conducted without any determination of their optical and microphysical characteristics.

In this regard, in the SRC "Planeta" after the successful launch in 2014 of the hydrometeorological Meteor-M No.2 satellite, an algorithm for determining the atmospheric aerosol parameters from the data of the 6-channel scanner MSU-MP have been developed. The main parameter to be determined is the aerosol optical depth (AOD) for 500 nm. The AOD estimation is carried out using regressions linking the measurements in the MSU-MP channels over different types of the underline surface with the AERONET (Aerosol Robotic Network) data. A special

database (MODIS Land Cover Product, MCD12Q1) is used to determine the type of the underline surface.

The results of comparisons between satellite estimates and AERONET measurements over Northern Europe and the Arabian Peninsula in 2015–2016 have shown that the root-mean-square error is in the range from 0.03 to 0.1, depending mainly on the AOT value.

Арктические мезоциклоны по спутниковым данным, данным реанализа и модельным расчетам

Акперов М.Г. (aseid@ifaran.ru), Мохов И.И., Дембицкая М.А.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Оценена возможность выявления полярных мезоциклонов (ПМЦ) в атмосфере европейского сектора Арктики (ЕСА) по разным данным реанализа (NASA–MERRA, ERA–INTERIM, NCEP–CFSR, ASR) с различным пространственным разрешением и по расчетам с региональной климатической моделью высокого разрешения (РКМ HIRHAM5). Получено, что по данным реанализа можно отождествлять до 65 % арктических мезоциклонов, выявленных по спутниковым данным для 2002–2008 гг. (проект STARS – Sea Surface Temperature and Altimeter Synergy for Improved Forecasting of Polar Lows). Отмечено, что по данным арктического реанализа ASR при высоком пространственном разрешении воспроизводится больше ПМЦ, чем по остальным данным реанализа с более грубым пространственным разрешением. Отмеченные различия в характеристиках арктических мезоциклонов связаны как с особенностями моделей, используемых в реанализах, так и с особенностями ассимиляции данных.

С использованием региональной климатической модели для арктических широт идентифицируется примерно столько же ПМЦ, как и по данным арктического реанализа ASR с высоким пространственным разрешением. Для воспроизведения мелких ПМЦ необходимы модели с более высоким пространственным разрешением и с адекватным описанием мезомасштабных процессов в Арктике.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки РФ № 14.616.21.0078.

Arctic mesocyclones from satellite data, reanalyses data and model simulations

M.G. Akperov (aseid@ifaran.ru), I.I. Mokhov, M.A. Dembickaya
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

The ability of the reanalyses data (NASA-MERRA, ERA-INTERIM, NCEP-CFSR, ASR) and regional climate model simulations (RCM HIRHAM5) to represent polar mesocyclones (PMCs) over European sector of the Arctic (ESA) in comparison with satellite data (STARS project – Sea Surface Temperature and Altimeter Synergy for Improved Forecasting of Polar Lows) is estimated. Our results show that reanalyses can represent up to 65 % of concrete observed polar mesocyclones from satellite data for 2002–2008. It is noted that Arctic reanalysis ASR with high spatial resolution reproduces more PMCs than from other reanalyses with a coarser resolution. Noted differences in the characteristics of Arctic mesocyclones from reanalyses data are related both the model structure and data assimilation methods.

RCM HIRHAM reproduces the same number of PMCs as Arctic reanalysis ASR with high spatial distribution. Models with a higher spatial resolution and with an adequate description of mesoscale processes in the Arctic are required to reproduce small-scale mesocyclones.

Work supported by grant №14.616.21.0078 of The Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Гиперспектральное дистанционное зондирование: распознавание образов и анализ сцен

Козодеров В.В.[1] (vkozod@mail.ru), Дмитриев Е.В.[2], Егоров В.Д.[2], Мельник П.Г.[3]
[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1, 119234 Москва, Россия*
[2]*Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 11999 Москва, Россия*
[3]*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул. 5, 105005 Москва, Россия*

Проблемы распознавания объектов лесного покрова разного породного состава и возраста исследуются на примерах обработки самолетных гиперспектральных изображений (сотни спектральных каналов в видимой и ближней инфракрасной области) для выбранного участка тестовой территории. Высокое пространственное разрешение данных гиперспектрального зондирования (около 1 м с высоты полета около 2 км) приводит к тому, что заданный класс объектов лесного покрова характеризуется случайным распределением пикселей для освещенных верхушек крон деревьев, полностью затененного фонового пространства и частично освещенными и затененными фито-элементами.

Разрабатываются алфавиты классов объектов по их спектральным и текстурным признакам на основе регистрируемых спектральных плотностей энергетической яркости (СПЭЯ), а также пространственного распределения регистрируемых элементов разрешения (пикселей). Создаются словари совокупности признаков соответствующих объектов. Определяются правила принятия решений о принадлежности выбранных классов объектов к известным априори на основе максимума апостериорной вероятности (в случае байесовского классификатора принятия статистических решений). Используются также другие классификаторы: метрический классификатор определяет минимум евклидова расстояния в многомерном признаковом пространстве, определяемом числом спектральных каналов; метод К-ближайших соседей основан на исследовании соседства пикселей для заданного класса объектов; метод опорных векторов применяется при решении проблемы минимаксной оптимизации. Для тестовой территории показаны преимущества и недостатки всех перечисленных классификаторов.

Исследования проводятся при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект №16-11-00007) и грантов Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты №16-01-00107, 15-01-00783).

Hyper-spectral remote sensing: pattern recognition and scene analysis

V.V. Kozoderov[1] (vkozod@mail.ru), E.V. Dmitriev[2], V.D. Egorov[2], P.G. Melnik[3]
[1]*M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninsky gory, 119234 Moscow, Russia*
[2]*Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkina str., 119333 Moscow, Russia*
[3]*N.E. Bauman Moscow State Technical University, 5 Second Baumanskaya str., 105005 Moscow, Russia*

Problems of pattern recognition for forest canopy objects of different species and ages are studied on examples of airborne hyper-spectral imagery processing (hundreds of spectral channels in visible and near infrared region) for a selected test area. High spatial resolution of hyper-spectral remote sensing data (near to 1 m from the flight altitude near to 2 km) results in that a particular class of forest canopy objects is characterized by a random distribution of pixels for sunlit tops, completely shaded background and partly illuminated and partly shaded phyto-elements.

Alphabets of object classes are elaborated based on registered spectral densities of radiances as well as spatial distribution of registered pixels. Dictionaries of feature selection are created for the relevant objects. Decision rules are defined as to belonging of selected object classes to the prior known based on maxima of the posteriori probabilities (in the case of Bayesian classifier of statistical decision making). Other classifiers are also used: metrical classifier that determines a minimum of Euclidean distance in multi-dimensional feature space defined by the number of spectral channels; K-neighborhood method based on finding neighboring pixels for a particular class of objects; Support Vector Machine method applicable for mini-max optimization. Priorities and deficiencies of all listed classifiers are shown for the test area.

These studies are conducted under financial support of Russian Science Foundation (project No. 16-11-00007) and grants of Russian Fund for Basic Research (project No. 16-01-00107, 15-01-00783).

Атмосферная коррекция гиперспектральных изображений на основе аналитических формул для спектра уходящего излучения

Катковский Л.В. (katkovskyl@gmail.com), Иванов Д.А., Мартинов А.О., Силюк О.О.
НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ, ул. Курчатова 7, 220108 Минск, Беларусь

В работе представлена быстрая и достаточно точная методика атмосферной коррекции на основе аналитических формул, описывающих с высокой точностью спектральную плотность энергетической яркости (СПЭЯ) уходящего излучения на верхней границе безоблачной атмосферы, с учетом помехи бокового подсвета. Задачей атмосферной коррекции является установление связи коэффициентов спектральной яркости или спектрального альбедо поверхности с коэффициентами яркости на верхней границе атмосферы, измеряемыми со спутника. Недостатками существующих методик атмосферной коррекции является использование сложных программ решения прямой задачи переноса излучения или заранее рассчитанных таблиц с вариантами решения прямой задачи, с последующей интерполяцией, что требует либо значительных временных затрат, либо неудовлетворительно по точности.

В модели атмосферы, используемой нами для атмосферной коррекции в рассматриваемом диапазоне длин волн 0.35–1.1 мкм, учитываются следующие существенные в переносе излучения процессы: аэрозольное ослабление, молекулярное рассеяние, поглощение водяным паром, кислородом и озоном; и следующие параметры: вертикальные спектральные оптические толщины по молекулярному рассеянию, и аэрозольному ослаблению, фактор асимметрии индикатрисы рассеяния (средний косинус), суммарная индикатриса рассеяния в приближении Хеньи-Гринстейна, альбедо однократного рассеяния, спектральное альбедо поверхности, интегральные содержания (в столбе атмосферы) водяного пара, кислорода и озона. Спектр уходящего излучения наиболее чувствителен к изменениям (в порядке убывания влияния) альбедо поверхности, оптической толщины аэрозоля и среднего косинуса индикатрисы. Спектральные зависимости оптических толщин по рэлеевскому и аэрозольному рассеянию аппроксимируются в рамках модели степенными

функциями. Учет поглощения излучения в полосах основных газовых составляющих атмосферы осуществляется фильтровым способом, т.е. общее выражение для СПЭЯ на верхней границе атмосферы умножается на произведение пропусканий трех газовых компонент. Поскольку вариации озона и кислорода незначительны, в методике используется фиксированное значение их концентраций, тогда как поглощающая масса водяного пара является неизвестным параметром.

Основу аппроксимации СПЭЯ уходящего излучения составляют аналитические выражения для трех функций, входящих в точное исходное уравнение для СПЭЯ: освещенности поверхности Земли (в улучшенном приближении Эддингтона), полного пропускания атмосферы от поверхности к спутнику (аналитические аппроксимации в зависимости от угловых переменных, оптической толщи и среднего косинуса индикатрисы), спектральной яркости атмосферной дымки (оригинальная аппроксимация, в которой учет многократного рассеяния осуществляется в виде квазилинейной поправки к однократному приближению). Погрешности аппроксимаций для каждой из указанных функций в целом не превышает нескольких процентов, что и обеспечивает высокую точность методики и быструю процедуру атмосферной коррекции.

Методика протестирована с использованием спектров уходящего излучения, полученных точным численным расчетом в программах COART и LibRadTran, а также реальных космических изображений гиперспектрометра Hyperion. Проведено сравнение с результатами атмосферной коррекции в модуле FLAASH программы ENVI.

Atmospheric correction of hyperspectral images based on analytical formulas for the spectrum of outgoing radiation

L.V. Katkovsky (katkovskyl@gmail.com), D.A. Ivanov, A.O. Martinov, V.A. Siliuk
A.N. Sevchenko Scientific Research Institute of Applied Physical Problems of Belarus State University, 7 Kurchatov str., 220045 Minsk, Belarus

The report presents a fast and sufficiently accurate technique of atmospheric correction based on the analytical formulas that describe the spectral radiance (SR) of outgoing radiation at the top of the cloudless atmosphere with high accuracy, taking into account the adjacency effect. The aim of atmospheric correction is to establish a connection between the spectral brightness coefficients or the spectral albedo of the surface with the SR at top of the atmosphere (TOA) measured from the satellite. The disadvantages of the existing methods of atmospheric correction are the use of complex computer codes for solving the direct radiation transfer problem or pre-calculated look up tables with variants of solving a direct problem, followed by interpolation, which either requires significant time costs or is unsatisfactory in accuracy.

In the atmosphere model we used for atmospheric correction for considered wavelength range 0.35–1.1 μm, the following processes, essential in radiation transfer, as aerosol extinction, molecular scattering, absorption by water vapor, oxygen and ozone; and the following parameters – vertical spectral optical thicknesses of molecular scattering, and aerosol extinction, scattering phase function asymmetry factor (average cosine), total scattering phase function in the Henjy-Greenstein approximation, single-scattering albedo, surface albedo, integral contents (in the atmosphere column) water vapor, oxygen, and ozone – are taken into account. The outgoing radiation spectrum is most sensitive to changes (in decreasing order of influence) of the surface albedo, the optical thickness of the aerosol and the average cosine of the phase function. The spectral dependences of optical thicknesses on Rayleigh and aerosol scattering are approximated by power functions. Accounting for radiation absorption in the bands of the main gaseous components of the atmosphere is performed by the filter method, i.e., general expression for SR at TOA is multiplied by the product of transmissions of three gaseous components. Since variations in ozone and oxygen contents are insignificant, in the technique fixed values of their concentrations are used, whereas the absorbing mass of the water vapor is an unknown parameter.

The basis of the SR approximation for outgoing radiation is the analytical expressions for the three functions entering into the exact initial equation for the SR: the illuminance of the Earth's surface (in the improved Eddington approximation), the total transmission of the atmosphere from the surface to the satellite (analytical approximations depending on the angular variables, optical thickness and average cosine of the phase function), the spectral brightness of the atmospheric haze (the original approximation, in which the multiple scattering is taken into account in the form of a quasilinear modification to a single scattering approximation). The accuracy of the approximations for each of these functions does not exceed a few percent, that ensures high accuracy and a fast procedure for atmospheric correction.

The technique was tested using the outgoing radiation spectra obtained by accurate numerical calculations in the COART and LIBRADTRAN codes, as well as real satellite images of the hyperspectrometer Hyperion. A comparison with the results of atmospheric correction in the FLAASH module of the ENVI program is made.

Динамика трендов общего содержания CO и CH_4 над Евразией по данным наземных и спутниковых измерений

Ракитин В.С.[1] (vadim@ifaran.ru), Скороход А.И.[1], Штабкин Ю.А.[1], Гречко Е.И.[1], Панкратова Н.В.[1], Макарова М.В.[2], Джола А.В.[1]

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

[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, Россия*

Представлены результаты анализа наземных (станции ИФА РАН, СПбГУ, NDACC) и спутниковых (спектрометры MOPITT и AIRS) измерений общего содержания оксида углерода и метана над Евразией. На основе спутниковых данных получены пространственные распределения трендов обоих газов в разные периоды и сезоны, начиная с 1998 г.; приведены характеристики достоверности этих распределений. Полученные спутниковые оценки трендов сопоставлены с аналогичными оценками на основе наземных спектроскопических данных.

Получено, что тренды в урбанизированных и фоновых районах Евразии после примерно 2007 г. отличаются по направленности. Так, в период 1998–2016 гг. для Москвы и Пекина отмечено продолжение уменьшения ОС CO (начиная с 2007 г.) со скоростью соответственно 0.75–3.1 и 1.0–1.5 %/год (по среднегодовым наземным и спутниковым данным); отмечено также, в основном, уменьшение ОС CO над Европой. В то же время, фоновое содержание этого газа (особенно в летние и осенние месяцы) после 2007 г. начало устойчиво расти практически над всей Евразией, исключая Китай, и включая Северную и Центральную Европу. Следует также отметить положительную динамику трендов CO в урбанизированных районах Европы после 2007 г. (в некоторых пунктах, таких как Юнгфрау, Зюгшпитц и Бремен, были зафиксированы положительные тренды). Таким образом, можно утверждать о переходе глобального CO в фазу накопления. Этот факт может свидетельствовать о влиянии глобальных климатических изменений на всю атмосферную фотохимическую систему, поскольку рост антропогенных эмиссий и эмиссий от природных пожаров в этот период не наблюдался.

Наибольшее ускорение трендов CH_4 после 2007 г. произошло в субтропическом и тропическом поясах Евразии (с 0.3–0.4 %/ год в период 2003–2015 гг. до 0.4–0.5 %/год в 2007–2015 гг.), а также в Северной Европе (с 0.2–0.25 до 0.3–0.35 %/год).

Работа выполнена при поддержке проектов РНФ №14-47-00049, №16-17-10275 и №14-17-00096 (измерения на базе СПбГУ).

Dynamics of trends in the CO and CH_4 total column over Eurasia according ground-based and satellite data

V. Rakitin (vadim@ifaran.ru)[1], A. Skorokhod[1], Yu. Shtabkin[1], E. Grechko[1], N. Pankratova[1], M. Makarova[2], A. Dzhola[1]

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

[2]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504, Saint-Petersburg, Russia*

The results of the analysis of ground-based (IAP RAS stations, St. Petersburg State University, NDACC) and satellite (MOPITT and AIRS spectrometers) measurements of the total content (TC) of carbon monoxide and methane over Eurasia are presented. Spatial distributions of trends of both gases in different periods and seasons (starting from 1998) have been obtained based on satellite data. The reliability characteristics of these distributions are given. Obtained satellite estimates of the trends are compared with similar estimates based on ground-based spectroscopic data.

It is found that the trends in the urbanized and background areas of Eurasia after about 2007 differ in sign. So, in the period of 1998−2016, for Moscow and Beijing, there was found a continuation of decrease in the CO TC, at a rate of 0.75−3.1 and 1.0−1.5 %/year, respectively (according to average annual ground and satellite data). It is also noted, in the main, that the CO TC over Europe is decreasing. At the same time, the background content of this gas (especially in the summer and autumn months) after 2007 began to grow steadily over virtually all of Eurasia, excluding China, and including Northern and Central Europe. It should also be noted the positive dynamics of CO trends in urbanized areas of Europe after 2007 (at some points such as Jungfraujoch, Zugspitze and Bremen, positive trends were obtained). So it can be said about the transition of global CO to the accumulation phase. This fact may indicate the influence of global climate changes on the entire atmospheric photochemical system, since no growth of anthropogenic emissions and emissions from natural fires was observed during this period.

The greatest acceleration of CH_4 trends after 2007 occurred in the subtropical and tropical zones of Eurasia (from 0.3−0.4 %/year in 2003−2015 to 0.4−0.5 %/year in 2007−2015), and also in Northern Europe (from 0.2−0.25 to 0.3−0.35 %/year).

This study was supported by the Russian Science Foundation under grants №14-47-00049, №16-17-10275 и №14-17-00096 (measurements by SPbSU).

The authors thank the scientific teams of NDACC stations Kiruna, Harestua, Ny Alesund, Zhule, Bremen, Jungfraujoch, Zugspitze for the possibility of using their measurement data of CO and CH_4 column.

Исследование влияния природных пожаров и антропогенных выбросов на состав атмосферы с использованием результатов Фурье-спектрометрических измерений в районе Санкт-Петербурга

Макарова М.В. (zaits@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Ионов Д.В., Виролайнен Я.А., Имхасин Х.Х., Волкова К., Тимофеев Ю.М.

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

Evaluation of the influence of wildfire and anthropogenic emissions on atmospheric composition using FTIR observations near St. Petersburg

M. Makarova (zaits@troll.phys.spbu.ru), A. Poberovskii, D. Ionov, Ya. Virolainen, Kh. Imhasin, K. Volkova, Yu. Timofeev

Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

Climate change together with significant anthropogenic pollution affect not only the people's quality of life and health in the areas with high population density, but also increase pressure on sensitive ecosystems of Arctic and subarctic regions. Studies of atmospheric composition change

involve information obtained from different ground-based and satellite observational systems, and numerical simulations of target atmospheric processes. Ground-based IR spectroscopy is well-known method that successfully used for a long-term atmospheric monitoring of gas composition of the atmosphere as well as for the validation of satellite measurements and atmospheric modeling results.

High-resolution Fourier transform spectrometers allow improving the accuracy of measurements and also significantly expand the list of measured gases by such components as C_2H_6, HCN, H_2CO, etc. Compared to satellite experiments, ground-based FTIR measurements give us a possibility to retrieve total columns of CO_2, CH_4, N_2O, O_3, OCS, CO, C_2H_6, HCN, H_2CO, etc. in the atmosphere on a long-term basis and have good sensitivity to the lower, most contaminated layers of the troposphere. Observations of HCN, C_2H_6 and H_2CO in the atmosphere are sporadic, information on global budget, sources and sinks of these gases is rather sparse, therefore the modeling the temporal and spacial variations of these components in the atmosphere remains the challenge.

Results of FTIR measurements of CO, C_2H_6, HCN and H_2CO total columns in the atmosphere that are being carried out at the St. Petersburg State University (St.Petersburg site of IRWG/NDACC) from 2009 are presented. CO, C_2H_6, HCN, and H_2CO retrieval strategies optimized for the geographical location of the St. Petersburg site, as well as error budgets of FTIR measurements of CO, C_2H_6, HCN, and H_2CO total columns are discussed.

Current study presents the analysis focused on the short-term changes of the total columns of CO, C_2H_6, HCN, and H_2CO due to influence of anthropogenic pollution and wildfire emissions. For the identification of air masses with different levels (background, moderate or highly polluted) and types (anthropogenic or wildfires) of contamination the following data were used:

– tropospheric columns of NO_2 and AERONET aerosol optical thicknes (when available) measured at the St.Petersburg site;

– satellite data on location and intensity of wildfires and OMI UV aerosol index;

– HYSPLIT (trajectory and dispertion) model results.

Investigations were funded by the Russian Science Foundation, project #14-17-00096. Measurement facilities were provided by Geo Environmental Research Center “Geomodel” of Saint-Petersburg State University.

Интегральная эмиссия NO_x с территории Санкт-Петербурга по данным мобильных измерений и результатам численного моделирования

Ионов Д.В.[1] (ionov@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В.[1], Желтышев М.А.[2] (mihalich93@bk.ru)

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, Россия*

[2]*Санкт-Петербургский университет ИТМО, Кронверкский пр. 49, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

Представлены результаты мобильных спектроскопических измерений тропосферного содержания NO_2 [1], выполненных с борта автомобиля на трассе КАД Санкт-Петербурга в течение нескольких дней в 2012 и 2014–2016 гг. [2]. Использовался компактный автоматический спектрометр OceanOptics HR4000 высокого разрешения (~ 0.6 нм), в спектральном интервале 400–610 нм. Для осуществления мобильных измерений входная часть оптического световода спектрометра вертикально фиксировалась к кузову автомобиля, обеспечивая непрерывную зенитную регистрацию рассеянного солнечного излучения. Местоположение определялось с помощью ГНСС-датчика для привязки результатов измерений к маршруту движения на карте. Запись спектров осуществлялась с интервалом 30 секунд; единичные спектры, зарегистрированные за это время, суммировались (время экспозиции для регистрации единичного спектра составляло в среднем ~ 60 мс). Все эксперименты выполнялись в дневное время, около полудня – при высоком Солнце. Средняя продолжительность циклического маршрута движения по КАД протяженностью ~ 140 км составляла ~ 1.5 часа.

Проведен анализ данных 9-ти мобильных экспериментов. Результаты расчета полей содержания NO_2 в вертикальном слое 0–1500 м, выполненные с использованием дисперсионной модели HYSPLIT, демонстрируют удовлетворительное согласие с экспериментально наблюдаемыми пространственными вариациями тропосферного NO_2 – как с помощью мобильных измерений, так и в данных одновременных спутниковых измерений аппаратурой OMI (Ozone Monitoring Experiment).

В качестве основной входной информации, необходимой для проведения модельных расчетов, использовались официальные данные инвентаризации воздушных выбросов загрязняющих веществ, имеющиеся в администрации Санкт-Петербурга. Для корректного учета этих данных в численном моделировании рассеяния загрязнений выполнен кластерный анализ всех инвентаризованных объектов (всего около 126 тысяч) по следующим критериям: интенсивность выброса NO_x, его местоположение и высота (для дымовых труб). Это позволило сократить количество модельных источников выброса NO_x до 50 основных (обобщенных). В качестве источника метеорологической информации использовались ассимилированные данные NCEP GDAS, представленные на глобальной пространственной сетке 1 град. x 1 град. широты и долготы, с шагом по времени 3 часа (данные содержат глобальную информацию о вертикальных профилях температуры, давлении, влажности, направлении и скорости ветра, и некоторых других параметрах атмосферы). Проведены сопоставления наблюдаемых вариаций тропосферного содержания NO_2 по маршруту КАД с данными расчетов модели HYSPLIT на срок каждого мобильного эксперимента. На основе масштабирования модельных интенсивностей источников получены оценки годовой интегральной эмиссии NO_x, составившие от 29 до 103 тыс. тонн в год для разных экспериментов, в среднем 52 ± 22 тыс. тонн в год.

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

1. Ionov D., A. Poberovskii. Quantification of NO_x emission from St. Petersburg (Russia) using mobile DOAS measurements around entire city // Int. J. Rem. Sens. 2015. Vol. 36, No. 9. P. 2486–2502.
2. Ионов Д.В., Поберовский А.В. Интегральная эмиссия окислов азота с территории Санкт-Петербурга по данным мобильных измерений и результатам численного моделирования // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53, № 2. С. 232–241.

Integral emission of nitrogen oxides from the territory of St.Petersburg using the data of mobile measurements and numerical simulation results

D.V. Ionov[1] (ionov@troll.phys.spbu.ru), A.V. Poberovskii[1], M.A. Zheltyshev[2] (mihalich93@bk.ru)

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*Saint-Petersburg ITMO University, Faculty of Natural Science, 49 Kronverkskiy pr., 49197101 Saint-Petersburg, Russia*

The results of mobile spectroscopic measurements of tropospheric NO_2 content onboard a car [1] on a ring road round St.Petersburg during number of days in 2012, and 2014–2016 are presented [2]. These observations are carried out with the use of compact automatic high-resolution (~ 0.6 nm) spectrometer OceanOptics HR4000 in the wavelength range 400–610 nm. To perform mobile measurements, the optical fiber inlet is installed vertically on the car, making possible continuous registration of zenith-sky scattered sunlight. Location of the car is determined with the help of GNSS-sensor, to attribute the measurement results to the map of the route. The measurements are recorded each 30 seconds, with individual spectra averaged within that period (exposure time of individual spectra registration is ~ 60 ms on the average). All observations took place at daytime, close to local noon, at high sun. The duration of circular route with a distance of ~ 140 km was ~ 1.5 hour.

Nine circular mobile experiments have been thoroughly analysed. NO_2 vertical contents in the 0–1500 meters layer, simulated by HYSPLIT dispersion model, are in a reasonable agreement with

an observed spatial distributions of tropospheric NO_2 – by both mobile measurements and simultaneous satellite data of OMI (Ozone Monitoring Instrument).

The basic input to model calculations was an official inventory of atmospheric pollution sources, collected by the administration of St. Petersburg. To do a proper implementation of that data in the model of pollution dispersion, special cluster analysis was applied to the full set of inventory (including about 126 thousand of objects). This clustering has utilized the following criteria: intensity of NO_x emission, its altitude (for the chimneys) and location. Consequently, the number of NO_x emission sources configured in the model was reduced to 50 general ones. For the input of model meteorology the assimilated NCEP GDAS data was used, containing the global information about vertical atmospheric profiles of temperature, pressure, humidity, wind direction and speed, on 1 deg. x 1 deg. latitude and longitude grid, 3 hours step. Observed spatial distributions of NO_2 over the circular car route were compared to the data of HYSPLIT simulation for an each day of mobile experiment. Based on the scaling of model emission intensities, annual total NO_x emission estimates were obtained, varying from 29 to 103 thousand tons for different days of experiment, 52 ± 22 thousand tons on the average.

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

1. Ionov D., A. Poberovskii. Quantification of NO_x emission from St. Petersburg (Russia) using mobile DOAS measurements around entire city // Int. J. Rem. Sens. 2015. Vol. 36, No. 9. P. 2486–2502.
2. Ionov D.V., Poberovskii A.V. Integral emission of nitrogen oxides from the territory of St.Petersburg based on the data of mobile measurements and numerical simulation results // Izv., Atmospheric and Oceanic Physics. 2017. Vol. 48, No 4. P. 373–383.

Анализ лидарных, аэрологических и микроволновых измерений вертикальных профилей ветровых характеристик

Сапунов М.В.[1] (mikecf@mail.ru), Заморин И.С.[2], Ильин М.Ю.[3], Кузнецов А.Д.[4], Мельникова И.Н.[1], Самуленков Д.А.[1], Солонин А.С.[5], Фролькис В.А.[1]

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, РЦ «Обсерватория экологической безопасности», Университетская наб. 7/9, 199034 Санкт-Петербург, Россия*

[2]*ООО "МетеоМонитор", Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия*

[3]*ООО "Лазерные системы", ул. Связи 34, 198515 п. Стрельна, Санкт-Петербург, Россия*

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

[5]*Институт радарной метеорологии, Воейково 15, Всеволожский р-н, Ленинградская обл., Россия*

Проведены измерения вертикального профиля скорости и направления ветра в Ресурсном центре «Обсерватория экологической безопасности» Научного парка СПбГУ в центре Санкт-Петербурга в течение 2013–2015 гг. В качестве средства измерения вертикального профиля ветра используется импульсный доплеровский ветровой лидар. Высота лазерного зондирования ветра до 3–4 км, зависит от атмосферных условий. Полученные результаты сравниваются с данными аэрологических измерений Гидрометеослужбы в п. Воейково и радиолокационными измерениями в сантиметровом диапазоне, которое проводится в РГГМУ. Измерения проводятся синхронно, по расписанию станции в п. Воейково. Расстояние между пунктами измерений составляет 25 км и 8 км, соответственно. Вертикальная дискретность лидара составляет 75 метров, радара – 500 м, радиозонда – порядка десятков и сотен метров. Так как для измерений в сантиметровом диапазоне требуется наличие облачности, а для лидарного зондирования толстая облачность является мешающим фактором, то были выбраны даты с тонкой разорванной облачностью. Сравнение проводилось в предположении однородности поля ветра в указанных масштабах.

Представлены результаты, которые показывают хорошее совпадение вертикальных профилей ветра, полученных тремя методами, и случаи, когда результаты резко отличаются либо на больших высотах, либо, наоборот, в приземном слое. Рассчитаны коэффициенты корреляции для разных высотных диапазонов по разным направлениям. Рассмотрено влияние метеорологических параметров на степень совпадения показаний средств измерений. В докладе представлены результаты сравнения и возможные объяснения выявленных различий данных измерений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-55-00131 Бел_а и с использованием оборудования Ресурсного центра "Обсерватория экологической безопасности" Научного парка СПбГУ.

Analysis of wind vertical profiles from lidar, upper air and microwave sounding

M.V. Sapunov[1] (mikecf@mail.ru), I.S. Zamorin[2], M.Yu. Ilyin[3], A.D. Kuznetsov[4], I.N. Melnikova[1], D.A. Samulenkov[1], A.S. Solonin[5], V.A. Frolkis[1]

[1]Saint-Petersburg State University, Research Park, Resource Center “Observatory for Ecological safety”, 7/9 Universitetskaya nab., 199034 Saint-Petersburg, Russia

[2]LLK "MeteoMonitor", 98 Malookhtinsky av., 195196 Saint-Petersburg, Russia

[3]LLK “Laser Systems”, 34 Svyazi str., Strelna, 195196 Saint-Petersburg, Russia

[4]Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky, 195196 Saint-Petersburg, Russia

[5]Institute of Radar Meteorology, 15 Voeikovo Len. Reg., Saint-Petersburg, Russia

The vertical profiles of wind speed and direction were measured in the Resource Center "Observatory of Ecological Safety" of the St. Petersburg State University (Research Park) in the center of St. Petersburg during 2013–2015. The pulsed Doppler wind lidar is used as a means of measuring the wind vertical profile of. The height of the laser sounding of the wind is 3 to 4 km, depending on atmospheric conditions. The obtained results are compared with the data of upper-air measurements of the Hydrometeorological Service in Voeikovo and radar measurements in the centimeter range, which is conducted at RSHU. The measurements are carried out synchronously, according to the station's schedule in Voeikovo. The distance between the measurement points is 25 km and 8 km, respectively. The vertical discretizations of the lidar is 75 meters, of the radar is 500 meters, and of the radiosonde is about tens and hundreds of meters. Since measurements in the centimeter range require the presence of cloudiness, and for lidar sensing thick cloudiness is an interfering factor, then dates with thin broken clouds were chosen. The comparison was made under the assumption of homogeneity of the wind field at the indicated scales.

Results demonstrating the good agreement between the vertical wind profiles obtained by the three methods and cases when measurements differ sharply either at high altitudes or, conversely, in the surface layer are presented. Correlation coefficients for different altitude ranges in different directions were calculated. The influence of meteorological parameters on the degree of coincidence of indications of measuring instruments is considered. The report presents the results of the comparison and possible explanations for the observed differences in these measurements.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 16-55-00131 Bel_a and it is done with the equipment of the Resources Centre “Observatory of Environmental Safety” of Research Park, St. Petersburg State University.

Лидарное зондирование тонкой облачности

Тагаев В.А.[1] (vladislavtagaev@gmail.com), Васильев А.В.[2], Мельникова И.Н.[2], Самуленков Д.А.[2], Сапунов М.В.[2]

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

[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, РЦ «Обсерватория экологической безопасности», Университетская наб. 7/9, 199034 Санкт-Петербург, Россия*

Для восстановления оптических параметров атмосферных аэрозолей из лидарного зондирования применяется приближение однократного рассеяния, в котором получено лидарное уравнение. На этом основании определяются объемные коэффициенты ослабления и обратного рассеяния в трех спектральных каналах 355, 532 и 1064 нм, которые, в свою очередь, дают возможность решить обратную задачу и получить вертикальные профили микрофизических и морфологических параметров аэрозольных частиц. Однако, встают вопросы, корректно ли применять приближение однократного рассеяния при зондировании тонкой облачности, и до какой оптической толщины используемое приближение остается корректным? В докладе предлагаются ответы на эти вопросы.

Для решения поставленной задачи был проведен анализ с расчетами, основанными на нескольких методах теории переноса для набора значений оптической толщины облака. В случае значительного влияния доли многократно рассеянного света в принимаемом сигнале рассеянного назад лазерного луча используется специальный корректирующий коэффициент. Дальнейшее восстановление микрофизических и морфологических параметров аэрозольных частиц в исследуемом облаке проводится согласно стандартным приемам. В докладе представлены основные формулы для оценки доли многократно-рассеянного сигнала регистрируемого приемником, и результаты восстановления размера, количества и оптических параметров частиц в тонких облаках.

Работа была выполнена с использованием оборудования Ресурсного центра "Обсерватория экологической безопасности" Научного парка СПбГУ и в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (Соглашение № 14.586.21.0023, уникальный идентификатор проекта RFMEFI58615X0023).

Lidar sounding of thin clouds

V.A. Tagaev[1] (vladislavtagaev@gmail.com), A.V. Vasilev[2], I.N. Melnikova[2], D.A Samulenkov[2], M.V. Sapunov[2]

[1]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinskii ave., 195196 St. Petersburg, Russia*

[2]*Saint-Petersburg State University, Research Park, Resource Center “Observatory for Ecological safety”, 7/9 Universitetskaya nab., 199034 St. Petersburg, Russia*

To restore optical parameters of atmospheric aerosols from lidar sounding, the lidar equation in the single scattering approximation is applied. On this basis, the volume extinction and backscattering coefficients in three spectral channels 355, 532, 1064 nm are determined that give a possibility to solve the inverse problem and to obtain vertical profiles of microphysical and morphological parameters of aerosol particles. However, there are questions whether it is correct to apply the single scattering approach in sounding thin cloudiness and to what optical thickness the used approach remains correct? In the report answers to these questions are offered.

To solve this problem, calculations based on several methods of the transfer theory for a set of the cloud optical thickness values were analysed. In the case of a significant influence of the fraction of multiply scattered light in the received signal of the backscattered laser beam, a special correction factor is used. Further retrieval of microphysical and morphological parameters of aerosol particles in the considered cloud is accomplished according to standard techniques. The report presents the basic formulas for estimating the fraction of multiple-scattered signal recorded by the receiver, and results of retrieving the size, number, and optical parameters of particles in thin clouds.

The study is accomplished with the equipment of the Resources Centre “Observatory of Environmental Safety” of Research Park, St. Petersburg State University and in the frames of Federal Target Program "Research and development on priority directions of development of scientific-technological complex of Russia for 2014–2020" (Agreement No. 14. 586.21.0023).

Солнечный спектрополяриметр и определение параметров атмосферы на основе измерений спектров нисходящего излучения

Мартинов А.О. (antonmartenov@gmail.com), Катковский Л.В.
Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ, ул. Курчатова 7, 220108 Минск, Республика Беларусь

Разработанный в отделе аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ сканирующий солнечный спектрополяриметр ССП-600 предназначен для наземных измерений прямого и рассеянного атмосферой солнечного излучения под различными углами в диапазоне 350–950 нм со спектральным разрешением 1.2–2.0 нм. Получаемые спектры высокого разрешения используются затем для решения обратной задачи по определению параметров атмосферы. Конструкция ССП-600 позволяет устанавливать перед входным объективом поляроид в произвольных ориентациях. ССП-600 комплектуется автоматической поворотной платформой, которая позволяет с точностью до 5 угловых минут ориентировать оптическую ось ССП-600 в двух плоскостях. Управление процессом спектрометрирования осуществляется с помощью смартфона, для которого разработано ПО, реализующее алгоритмы съемки и записи в память спектров, позволяющее, в том числе, заранее подготовить маршрут обхода небесной полусферы с выполнением съемки для заданной последовательности точек. Платформа управляется с помощью смартфона, связанного по Bluetooth со смартфоном солнечного спектрополяриметра.

Построение той или иной оптической модели атмосферы является необходимым этапом при решении обратной задачи. Анализ проведенных многочисленных расчетов спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) излучения для различных углов Солнца и наблюдения показал, что спектры как уходящего, так и нисходящего излучения, слабо зависят от вертикальных профилей оптических параметров атмосферы и могут быть достаточно точно описаны с использованием интегральных (в некотором смысле, эффективных) по толщине атмосферы значений параметров, существенных с точки зрения теории переноса излучения. Таковыми параметрами являются (в дополнение к угловым переменным, описывающих геометрию задачи): спектральные оптические толщины атмосферы (по молекулярному рассеянию и аэрозольному ослаблению), параметр индикатрисы рассеяния (средний косинус), альбедо однократного рассеяния, спектральное альбедо поверхности, интегральное (в столбе атмосферы) содержание водяного пара, кислорода и озона. Причем наиболее чувствителен спектр нисходящего излучения к изменениям среднего косинуса индикатрисы, оптической толщины аэрозоля и альбедо однократного рассеяния.

Предложена аналитическая аппроксимация СПЭЯ нисходящего излучения в атмосфере, обеспечивающая достаточно точный расчет значений СПЭЯ на основе простой модели безоблачной атмосферы по аналитическим формулам, которые используются затем для решения обратной задачи. Проведены сопоставления натурных измерений спектров неба под различными углами с помощью ССП-600, расчетов СПЭЯ по предложенным аналитическим формулам и численных расчетов СПЭЯ нисходящего излучения по известным программам переноса COART и LIBRADTRAN.

The solar spectropolarimeter and determination of the atmospheric parameters based on measurements of the downwelling radiation spectra

Anton Martinov (antonmartenov@gmail.com), Leanid Katkouski
A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University, 7 Kurchatov str., 220108 Minsk, Belarus

Scanning solar spectropolarimeter SSP-600 developed in the Department of Aerospace Research of A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems is designed to measure the direct sun radiation and radiation scattered by the atmosphere at different angles in the range of 350–950 nm with spectral resolution 1.2–2.0 nm. The resulting high-resolution spectra are used to solve the inverse problem of determining the parameters of the atmosphere. The design of SSP-600 allows to install a polaroid in front of the input lens in arbitrary orientations. The SSP-600 is equipped with an automatic rotating platform which allows to orient the optical axis of the SSP-600 in two planes with an accuracy of 5 angular minutes. The process of spectrometry is controlled via smartphone by developed software that implements the algorithms for spectra shooting, which allows, among other things, to prepare in advance bypass route of celestial hemisphere and take spectra at given points. The platform is controlled by a smartphone which is connected via Bluetooth to the solar spectropolarimeter smartphone.

Modeling of the atmosphere is a necessary stage in the solution of the inverse problem. An analysis of the numerous calculations of radiance spectral density (RSD) for various angles of the sun and observations has shown that the spectra of both the outgoing and descending radiation are weakly dependent on the vertical profiles of the optical parameters of the atmosphere and can be described fairly accurately using the values of the parameters that are integral with respect to the atmosphere thickness and essential from the point of view of the radiation transfer theory. These parameters (in addition to the angular variables describing the geometry of the measurements) are: the spectral optical thicknesses of the atmosphere (by molecular scattering and aerosol attenuation), the scattering phase function parameter (average cosine), the single scattering albedo, the surface albedo, the integral (in the atmosphere column) content of water vapor, oxygen and ozone. Moreover, the spectrum of downward radiation is most sensitive to changes in the average cosine of the phase function, the optical thickness of the aerosol, and the single-scattering albedo.

An analytical approximation of the RSD of descending radiation in the atmosphere is proposed, which provides a fairly accurate calculation of the RSD values on the basis of a simple cloudless atmosphere model using analytical formulas that are then used to solve the inverse problem. The real-life measurements of sky spectra at different angles obtained by SSP-600 were compared with RSD calculations based on the proposed analytical formulas and numerical calculations of the RSD of downward radiation by known COART and LIBRADTRAN transfer programs.

Особенности разработки лазерных дальномерных систем для горизонтальных трасс приземной атмосферы

Пырикова С.И. (erlazer@mail.ru)
ФЦ науки и высоких технологий «СНПО «Элерон», Росатом, ул. генерала Белова 14, 115563 Москва, Россия

Выполнен обзор прецизионных (высокоточных) лазерных оптико-электронных систем измерения больших длин. Рассмотрены этапы решения основного энергетического соотношения. Представлена методика светоэнергетического расчета приемо-передающей системы измерения дальности. Уделено внимание разработке алгоритмов программ расчета предельно допустимых уровней лазерного излучения в разработке и макетировании систем лазерной дальнометрии. Приведены экспериментальные данные измерения дистанций в

приземной трассе открытой атмосферы лазерными оптико-электронными высокоточными системами измерения длин.

Features of the elaboration of laser range-finder systems for horizontal track in surface atmosphere

S.I. Pyrikova (erlazer@mail.ru)
Special scientific and production association "Eleron", 14 Gen. Belov str., 115563 Moscow, Russia

A review of high precision laser opto-electronic systems for measuring large distances is performed. Main stages of solving the fundamental energetic equation of laser location are considered. A procedure of the light-energy computation of the transmitter-receiver ranging system is presented. Some attention is paid to the method and algorithm for calculating the maximum permissible levels of laser radiation at the development and prototyping of the laser ranging measurement systems. Experimental data of measurements by high precision laser ranging systems are given.

Погрешности самолетного метода контроля электрического состояния облаков

Торгунаков Р.Е. (roman.torgunakov@gmail.com), Синькевич А.А., Михайловский Ю.П.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 199053 Санкт-Петербург, Россия

Измерение электрических характеристик атмосферы и облаков имеет важное фундаментальное значение при комплексных исследованиях физики облаков. Использование самолетных методов является оптимальным решением для высотного зондирования электрического поля и электропроводности атмосферы в условиях хорошей погоды, а также позволяет проводить целый ряд других параллельных исследований, связанных, например, с электрическим климатом Земли, связями электрических процессов в тропосфере и ионосфере и другими проблемами физики атмосферы. При этих измерениях предъявляются повышенные требования к точности измерения напряженности электрического поля. Присутствие самолета крайне сильно искажает внешнее поле, особенно в условиях сильных электрических полей. Вызываемая самолетом турбулентность и уносимый выхлопными газами его двигателей заряд вносят дополнительные погрешности, варьирующиеся от одного самолета к другому.

В предлагаемом сообщении представлена усовершенствованная методика получения коэффициентов искажения электрического поля самолетом и его собственным зарядом, основанная на физико-математическом моделировании искажений однородного поля проводящим заряженным эквипотенциальным планером. Методика проиллюстрирована на примере самолетов–лабораторий, длительное время использовавшихся в комплексных исследованиях облаков ГГО им. А.И. Воейкова. Рассмотренная методика позволяет определять расположение электрических нейтралей на летательном аппарате, вырабатывать рекомендации по оптимальному расположению датчиков на летательном аппарате, производить на основе полученных в результате моделирования данных расчет матриц калибровочных коэффициентов.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, 16-05-00197_а, 15-05-05719_а, 17-55-80048, BRIKS_a, 17-05-00965_a.

Errors of aircraft technique for controlling the electrical state of clouds

R.E. Torgunakov (roman.torgunakov@gmail.com), A.A. Sinkevich, Yu.P. Mikhailovsky
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

The measurement of the electrical characteristics of the atmosphere and clouds is of fundamental importance in the overall studies of cloud physics. The use of aircraft methods is the optimal solution for high-altitude measurements of the electric field and electrical conductivity of the atmosphere under fair-weather conditions, and provides an opportunity for a number of other parallel studies, for example, to the Earth's electric climate, the connections of electrical processes in the troposphere and ionosphere, and other atmospheric physics problems. For these measurements there are high demands to the accuracy of measuring the electric field strength. The presence of an aircraft greatly distorts the external field, especially in conditions of strong electric fields. The turbulence caused by the airplane and the charge carried away by the exhaust gases of its engines produce additional errors that vary from one aircraft to another.

The paper presents an improved technique for derivating the aircraft distortion coefficients of the electric field and its own charge, based on the physical and mathematical modeling of the distortions of a homogeneous field by a conductive charged equipotential airframe. The technique is illustrated by the examples for flying laboratories, which for a long time have been used in complex studies of clouds by the Voeikov MGO. The considered technique makes it possible to determine the location of electrical neutrals on an aircraft, to develop recommendations for the optimal istallation of probes on an aircraft, and to calculate the matrix of calibration coefficients based on the model results data.

Investigations were supported by RFBR grants: 16-05-00197_a, 15-05-05719_a, 17-55-80048, BRIKS_a, 17-05-00965_a.

Оценка тропосферной задержки радиоволн на основе модели и данных микроволновых радиометров

Мешков А.Н., Готюр И.А., Караваев Д.М. (dm.karavaev@mail.ru), Краснов В.М., Кулешов Ю.В., Щукин Г.Г.
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, ул. Ждановская 13, 197198 Санкт-Петербург, Россия

На основе глобальной модели атмосферы NRLMSISE-00 и модели влажности Северного полушария (ГОСТ 26352-84) разработана модель, позволяющая проводить на ее основе расчеты диэлектрической проницаемости атмосферы вдоль траектории распространения радиоволн. Для проверки модели использованы данные о наиболее изменчивой влажной компоненте тропосферной задержки, полученные с помощью микроволновых радиометров. Отличие модельных и измеренных значений зенитных задержек радиоволн в тропосфере, обусловленных водяным паром, в среднем составило 1–3 см при среднеквадратичном отклонении 4.7–5.3 см, при этом модель Международного союза электросвязи (МСЭ) показала среднюю разницу около 9 см при среднеквадратическом отклонении около 3.1 см. В общем случае, при вертикальном распространении радионавигационного сигнала, влажная тропосферная задержка по наземным и судовым микроволновым измерениям в средних широтах изменялась в диапазоне от 5 см до 30 см, при этом среднеквадратическое различие между радиозондовым и микроволновыми радиометрическими измерениями составляло около 6 мм.

В работе делается вывод, что разработанная модель дает удовлетворительное описание среднего уровня регулярной компоненты тропосферной задержки, но не описывает быстропеременные вариации тропосферной задержки, обусловленные, в частности, вариациями водяного пара в тропосфере. Поэтому, учитывая результаты сравнительных экспериментов и анализа ошибок разработанной модели, представляется возможным

использовать ее для прогнозирования средней тропосферной влажной задержки. Предлагаемая модель, также как и модель МСЭ, позволяет проводить расчеты профилей диэлектрической проницаемости и тропосферной задержки вдоль траектории распространения радиоволн. В докладе также рассматривается возможность совершенствования глобальной модели тропосферной задержки на основе уточнения моделей для основных метеорологических параметров атмосферы и использования данных спутниковых микроволновых радиометров.

Estimation of radio waves tropospheric delay based on a model of atmosphere and microwave radiometry data

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

A.F. Mozhaysky Military Space Academy, Department of Geophysical Support Technologies and Tools, 13 Zhdanovskaya str., 197198 Saint-Petersburg, Russia

The most widely used climatological model for the atmosphere NRLMSISE-00 and climatological model of humidity GOST 26352-84 were combined. The model can be used to determine temperature, pressure and water vapour pressure as a function of altitude, for calculating the refraction of radio waves in the troposphere, when more reliable local data are not available. To test the model the data of ground-based (or ship-based) and satellite microwave radiometers were used. The difference between model and the measured values of the tropospheric wet delay of radio navigation signal averaged is 1–3 cm and 4.7–5.3 cm (r.m.s), and a model of the International Telecommunication Union (ITU) showed an average difference of approximately 9 cm and 3.1 cm (r.m.s.). In general, zenith tropospheric wet delay of radio navigation signal, measured by ground-based or ship-based microwave radiometers varied ranging from 5 cm to 30 cm at middle latitudes, while the difference between data of radiosonde and microwave radiometric measurements was approximately 6 mm.

The paper concludes that the model provides a satisfactory description of the average level of regular components of tropospheric delay but does not describe the fast variable variations of tropospheric delays due to variations of water vapor in the troposphere. So, given the results of comparative experiments and error analysis of the developed model, it is possible to use it to predict average level of tropospheric wet delay. The proposed model, as well as ITU model, allows calculations of dielectric permittivity profiles and tropospheric radio propagation path total delays. The report also examines the possibility of improving global model for tropospheric delay based on the refinement of the basic model for predicting meteorological parameters of atmosphere and the use data from satellite microwave radiometers.

О возможности создания двухпозиционного радиолокатора когерентного обратного рассеяния

Илюшин Я.А.[1,2] (ilyushin@phys.msu.ru), Коломиец С.Ф.[3], Воронцов А.М.[1], Шпренгер А.А.[1], Нечаев А.А.[1], Шагидаев Р.Р.[1]

[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. факультет, Ленинские горы 1, 119992 Москва, Россия*

[2]*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, ул. Моховая 11-7, 125009 Москва, Россия*

[3]*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (филиал), пл. Ак. Б.А. Введенского 1, 141190 Фрязино, Моск. обл., Россия*

Радиолокация атмосферных осадков в настоящее время широко используется для исследования и оперативного мониторинга состояния земной атмосферы. Атмосферные дождевые осадки характеризуются сложной трехмерно-неоднородной структурой как в малых масштабах (распределение капель по форме и размерам, собственные колебания

капель, распределение пространственной ориентации капель несферической формы и т.д. и т.п.), так и в крупном (> 1 км) масштабе (неоднородная ячеистая структура дождевого поля, вертикальный профиль температуры и т.д.). В технике интерпретации радиолокационных данных до сих пор в значительной степени преобладают методики на основе приближения однократного рассеяния волны в среде. Практические методики интерпретации радиолокационных данных с учетом многократного рассеяния еще пока весьма несовершенны и подлежат дальнейшему развитию.

В настоящей работе проделаны систематические расчеты слабой локализации радиолокационных импульсов миллиметрового диапазона длин волн в среде дождевых осадков. Исследован вклад однократного и многократного рассеяния в поле рассеянного излучения. Обсуждаются возможности создания двухпозиционного радиолокатора когерентного обратного рассеяния с разделением однократно и многократно рассеянных компонент поля.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-02-05476). Авторы благодарят НИВЦ МГУ им. М.В.Ломоносова за предоставленные ресурсы суперкомпьютеров СКИФ-ГРИД "Чебышев" и "Ломоносов" [1].

1. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Соболев С.И. и др. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы. 2012. № 7. С. 36–39.

On the possibility of the development of the bistatic coherent backscatter radar

Ya.A. Ilyushin[1,2] (ilyushin@phys.msu.ru), S.F. Kolomiets[3], A.M. Vorontsov[1], A.A. Sprenger[1], A.A. Nechaev[1], R.R. Shagidaev[1]

[1]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Physics Faculty, 1 Leninsky gory, 119992 Moscow, Russia*

[2]*V.A. Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, 11-7 Mokhovaya st., 125009 Moscow, Russia*

[3]*Branch of V.A. Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, 1 Vvedenskogo sq., 141190 Fryazino, Moscow region, Russia*

Radar location of the atmospheric precipitation is widely applied for investigation and operational monitoring of terrestrial atmosphere. Data interpretation techniques are now not enough sophisticated and are a subject of further development. These techniques are primarily based on the assumption of single scattering of the radiation in the medium. The researchers' attention has only recently been drawn to the effects of multile scattering of the radiation.

In the present work, systematic computer simulation of the weak localization of millimeter wave radar pulses in raining atmosphere has been performed. Single and multiple scattering contribution in the resulting field are analyzed. Possibility of development of the bistatic coherent backscatter radar is discussed.

Research has been supported by the Russian fundamental research fund (project 15-02-05476). The author is grateful to the Scientific Research Computing Center of the Moscow State University for granting the access to the computational resources of the parallel computing systems SKIF-GRID "Tchshebyshev" and "Lomonosov" [1].

1. Voevodin Vl.V., Zhmuty S.A., Sobolev S.I., et al. Practice of super-computer “Lomonosov” // Open Systems. 2012. No 7. P. 36–39 (in Russian).

Структурные элементы воды в микропузырьках под пленкой поверхностного натяжения морской поверхности как чувствительный элемент солнечно-тропосферных связей

Бубукин И.Т. (bubn@nirfi.unn.ru)
Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская ул. 25/12а, 603950 Н. Новгород, Россия

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

Основная часть энергии Солнца приходит на Землю в оптическом диапазоне, поглощается в верхнем 100 метровом слое океана, передается в атмосферу и формирует погоду и климат. Поток энергии от Солнца является стабильной величиной (солнечная постоянная), и механизмы солнечно-земных связей, дополнительно влияющие на передачу этой энергии в атмосферу Земли, вызывают большой интерес, т.к. это может приводить, например, к нагреву атмосферы (глобальное потепление).

В литературе обсуждается возможное влияние на погоду и климат микроволнового спорадического излучения ионосферного происхождения. Оно впервые было обнаружено в НИРФИ и регистрируется в периоды солнечных вспышек и магнитных бурь. В литературе указывается на возможное участие микроволнового излучения в погодно-климатических процессах, через воздействие потока микроволн на механизм конденсации водяных паров. Достигшее морской поверхности микроволновое излучение поглощается в поверхностном слое воды миллиметровой толщины и может быть механизмом, приводящим к вариациям теплового потока из океана в атмосферу через параметры микропузырькового слоя, состоящего из смеси воды и пузырьков воздуха микронного размера. Возможной причиной воздействия микроволнового спорадического излучения ионосферы на микропузырьковый слой могут быть структурные элементы воды в микропузырьках под пленкой поверхностного натяжения на морской поверхности, чувствительные к высокочастотным электромагнитным полям. Молекулы воды, имеющие четыре центра образования водородных связей, могут окружить себя еще четырьмя молекулами, что приводит к образованию еще более сложных структур. В литературе предложена модель основного структурного элемента воды, имеющего простую шестигранную геометрическую фигуру типа «ромбического кубика». Это шестигранное образование из 912-ти молекул воды с гранью в виде ромба с острым углом 60°. Основное свойство структурного элемента – наличие зарядового рисунка на гранях, – что позволяет им «узнавать» зарядовый рисунок на грани другого структурного элемента и формировать ячейки воды. Наименее способные к внешнему взаимодействию грани с нулевым общим зарядом образуют оболочку ячейки.

Предлагается структура пузырька воздуха сидящего на гидрофобной частице. Пространство между поверхностью гидрофобной (водоотталкивающей) частицы и наружной пленкой поверхностного натяжения заполнено структурой состоящей из ячеек воды, водяных паров и атмосферных газов. Ячейки воды, имеющие свойства жидких кристаллов компенсируют внешнее давление пленки поверхностного натяжения, которое одновременно упорядочивает их расположение. Места между ячейками достаточно для расположения молекул паров воды и атмосферных газов. Предложенная модель позволяет объяснить стабильное существование пузырьков микронного размера и может быть проверена

экспериментально по влиянию микроволнового спорадического излучения ионосферы на водяные кластерные структуры. Исследования вариаций параметров микропузырькового слоя при изменении солнечной активности или корпускулярных высыпаниях из радиационных поясов при магнитных бурях, позволят ответить на вопрос о возможности дополнительных вариаций потока энергии, поступающей в тропосферу через морскую поверхность.

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания (проект 3.8070.2017/БЧ).

Structural elements of water in microbubbles under the surface tension film of the sea surface as a sensitive element of the solar-tropospheric bonds

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

The film layer of the sea surface is directly contiguous to the atmosphere, intensive processes of gas exchange between the atmosphere and the sea are taken place through it, and there is the maximum concentration of dissolved atmospheric gases there. The methods and instruments, developed by the Radiophysical Research Institute for studying the physical processes in the surface layer of the rough sea surface (including ones in the infrared range), allowed us to study its structure and to detect a significant difference in dielectric properties of the top film layer, the bordering atmosphere, and laboratory measurement data. The observed effect is due to the presence of the tension of the sea surface layer (of about ten microns), filled with a mixture of water and air, so called microbubble layer, under the surface.

The most part of energy of the Sun comes to Earth in the optical range. It is absorbed in the upper 100 m-layer of the ocean and transferred into the atmosphere, creating weather and climate. The flow of energy from the Sun is a stable value (the solar constant), and the mechanisms of solar-terrestrial relations additionally affecting the transfer of this energy into the Earth's atmosphere are of great interest, because it can lead, for example, to the heating of the atmosphere (global warming).

The literature discusses the possible impact on the weather and climate of sporadic microwave radiation of ionosphere origin. First it was discovered in RRI and recorded in periods of solar flares and magnetic storms. The literature indicates the possible involvement of microwave radiation in weather and climate processes through the effects of the flow of microwaves in the mechanism of condensation of water vapor. The microwave radiation, reached the sea surface, is absorbed in the surface water layer of a millimeter thickness, and it may be a mechanism leading to the variations of the heat flux from the ocean to the atmosphere through the parameters of a microbubble layer, consisting of a mixture of water and air bubbles of micron size. Structural elements of water, which are sensitive to high frequency electromagnetic fields, and are taken place in the microbubbles under the surface tension film on the sea surface can be a possible reason for the impact of sporadic microwave radiation of the ionosphere on the microbubble layer. Water molecules having four centers of formation of hydrogen bonds, can surround himself with four other molecules, it leads to the formation of more complex structures. In the literature a model of the basic structural element of water, which has a simple hexagonal geometric shape type of "diamond cube" is proposed. This is a hexagonal formation consisting of 912 molecules of water with the facet in the form of a rhombus with the acute angle of 60°. The presence of the charge pattern on the sides that allows them "to recognise" the charge pattern on the facet of another structural element and to form cells of water is the main property of structural element. The facets which are the least able ones to an external interaction with zero total charge form the skin cells.

The structure of an air bubble sitting on a hydrophobic particle is proposed. The space between the surface of a hydrophobic (water repellent) particle and the outer film of the surface

tension is filled with a structure consisting of cells of water, water vapor and atmospheric gases. The cells of water, having properties of liquid crystals, compensate the external pressure of the film surface tension, which also regulates their location. The space between the cells is enough for the molecules of water vapor and atmospheric gases. The proposed model allows to explaining the stable existence of the bubbles of micron size and can be verified experimentally using the effect of sporadic microwave radiation of the ionosphere on water cluster structures. Studies of variations of the parameters of a microbubble layer due to the change of the solar activity or corpuscular rash from the radiation belts during magnetic storms, will allow to answer the question about the possibility of additional variations of the flow of energy entering the troposphere through the sea surface.

The work was performed with financial support from the Ministry of education and science within the basic part of the state task (project 3.8070.2017/BP).

Исследование эволюции скоплений аэрозоля на высотах полетов гражданской авиации

Мамонтов А.Е. (alex1372049@gmail.com), Гурвич А.С.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Одним из наиболее эффективных средств для исследования формирований каких-либо частиц в атмосфере является лидарное зондирование. Такие наблюдения являются ныне широко распространенным методом исследования свойств верхней тропосферы и стратосферы. При зондировании лидаром атмосферы в условиях ясного неба порой можно заметить скопления аэрозоля. Данные образования в настоящее время весьма слабо изучены. Чаще всего реализуется схема измерений для получения информации о вертикальных профилях тех или иных свойств аэрозоля и газового состава, поэтому зондирующий пучок направляется вертикально вверх при наземном расположении лидара или вниз, если лидар расположен, например, на самолете. Наряду с исследованием атмосферного аэрозоля существует задача определения лидарного определения атмосферной турбулентности, которая является причиной «болтанки» воздушных судов в полете. Поэтому в настоящее время ведутся интенсивные поиски лидарных методов оперативного обнаружения турбулентности впереди по направлению полета на расстоянии, достаточном для того, чтобы за время подлета успеть принять меры, необходимые для обеспечения безопасности полета.

Для решения поставленных задачи о дистанционном определении турбулентности была проведена европейская научно-исследовательская программа DELICAT, проводившаяся с июля 2013 г. по август 2014 г., полноправным партнером которой был ИФА РАН. Полученная информация об аэрозоле не вызвала интерес у западных коллег. Работая с полученными данными, планируется получить статистические оценки размеров и времени жизни скоплений аэрозоля в верхней тропосфере и тропопаузе в условиях ясного неба, а также будет исследована возможная связь формирования скоплений с метеоусловиями. Также задача проекта – разработать метод выделения аэрозольных скоплений на фоне молекулярного рассеяния и получить оценки помех дистанционному определению турбулентности с помощью лидарного зондирования в областях полетов гражданских воздушных судов.

The study of the evolution of aerosol concentrations at altitudes of civil aviation

Alexey Mamontov (alex1372049@gmail.com), Alexander S. Gurvich
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky pr., 119017 Moscow, Russia

Clear Air Turbulence (CAT) refers to turbulences in air without cloud, usually located in high troposphere and low stratosphere. Those CATs are a serious issue for inflight plane security and are

responsible for numerous injuries or even reported deaths every year. Planes crossing such CAT can be strongly vertically shaken and passengers with security belt unfastened can be seriously injured. Nowadays there is no alert system able to detect CAT at typical flight height. Indeed, onboard weather radars are blind to clear air turbulence. Today, Clear Air Turbulences are a serious flight security problem because there are no ground or onboard detection devices. Besides, the physical phenomenon is far from being clearly understood. The understanding of CAT phenomenon is poor because: 1) is difficult to measure the CAT atmospheric parameters in situ (relatively low occurrence); 2) the simulations are complex.

Therefore, this original project intends to 1) obtain a complete measured data set by remote sensing from the ground; 2) join two different know-how to address the theoretical simulation aspects of CAT. Archive for the research was obtained in the performance of the European research program DELICAT (Demonstration of LIDAR based Clear Air Turbulence detection), which was a full-fledged performer IAP RAS (Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Science). The task of the flight test project DELICAT was to demonstrate the effectiveness of the proposed methods of lidar detection of turbulence. Flight tests were conducted using aircraft lidar instrument on board aircraft research vessel Cessna Citation II. Flight tests have given not only the information necessary to take into account the properties of airborne noise, but also provided us with data on atmospheric aerosol along the flight path. Questions of aerosol scattering and the resulting data in this direction have not been claimed by European participants DELICAT. In practice many hours continuous recording of lidar response proportional to the intensity of the scattered radiation is observed, broke for further processing of measured data into segments lasting 1 minute. Created data archive, a method of constructing 2D distributions have experience highlight areas free from congestion and provide estimates of the aerosol extinction. It should also be noted that we have not found the publication devoted to lidar observations from the aircraft in the direction of the flight path, and their absence lends even greater urgency in the research.

Исследование формирования электрических разрядов в грозо-градовом облаке с использованием дистанционных средств измерений

Синькевич А.А. (sinkevich51@mail.ru), Михайловский Ю.П., Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Абшаев А.М.

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

Исследовано развитие кучево-дождевого облака с помощью комплекса дистанционных средств-радиометра SEVERI, установленного на спутнике Метеосат, радиолокатора МРЛ-5 и грозопеленгатора LS-8000. Облако развивалось на Северном Кавказе. Наблюдения за облаком осуществлялись в течение 270 минут. С использованием многоспектральных измерений со спутника были получены данные о высоте верхней границы облака, его фазовом составе, об альбедо, структуре наковальни, интенсивности и потоке осадков, геометрических характеристиках. С использованием грозопеленгатора получены данные об электрических разрядах в LF и VHF диапазонах спектра. Выполнено сопоставление результатов измерений электрических разрядов с данными, полученными из анализа радиометрических и радиолокационных измерений.

Установлено, что электрические разряды (внутриоблачные и молнии) регистрировались в течение 1 ч. 40 мин. Максимальное значение частоты электрических разрядов составило 448 разрядов в минуту. Выявлены взаимосвязи характеристик электрических разрядов с интенсивностью осадков и полем радиационной температуры облака. Установлено, что с увеличением интенсивности осадков возрастает частота электрических разрядов, достигая максимума при интенсивности осадков около 70 мм/час. Построены нормированные автокорреляционные функции поля радиационной температуры облака, полученные по измерениям со спутника. Установлена достаточно тесная

корреляционная связь между масштабом неоднородности поля радиационной температуры облака и частотой электрических разрядов.

Исследования поддержаны РФФИ (гранты 16-05-00197_а, 15-05-05719_а, 17-55-80048 BRIKS_а, 17-05-00965_а.)

Investigation of the formation of electrical discharges in thunderstorm with hail using remote sensing instruments

A.A. Sinkevich (sinkevich51@mail.ru), Yu.P. Mikhailovsky, Yu.A. Dovgaluk, N.E. Veremey, A.M. Abshaev

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

Investigation of Cb development was carried out using a set of remote instruments: SEVERI radiometer installed on board Meteosat satellite, radar MRL-5, and lightning detection system LS-8000. The cloud was developing in north Caucasus. Measurements were carried out during 270 minutes. Data on cloud top height, phase content, albedo, anvil structure, precipitation intensity and precipitation flux, geometrical sizes were obtained with the help of multispectral measurements from satellite. Comparison of electrical discharges with data, obtained from radiometric and radar measurements was carried out.

It has been observed that electrical discharges (in-cloud and lightning) were registered during 1 hour 40 min. Maximum frequency of electrical discharges was equal to 448 discharges per minute. Relations between characteristics of electrical discharges and field of cloud radiation temperature and precipitation intensity were discovered. It was found that a frequency of electrical discharges was increasing with the growth of precipitation intensity, the maximum was observed at precipitation intensity which was equal to 70 mm/hour. Normalized auto-correlation functions of cloud radiation temperature field, obtained using satellite measurements, were build. High correlation was discovered between typical inhomogeneity size of the field of cloud radiation temperature and frequency of electrical discharges.

Investigations were supported by RFBR grants: 16-05-00197_а, 15-05-05719_а, 17-55-80048 BRIKS_а, 17-05-00965_а.

Исследования собственного излучения атмосферы в инфракрасном диапазоне длин волн

Якименко И.В. (eimt.sbmpei@gmail.com), Жендарёв М.В., Гурченков Д.А., Набатчиков А.С., Мищенко А.М., Найдёнов Е.В.

Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске; Энергетический проезд 1, 214013 Смоленск, Россия

Полученные ранее результаты экспериментальных исследований пространственной структуры собственного излучения неоднородностей атмосферного фона (АФ) в инфракрасном (ИК) диапазоне волн не отличаются полнотой. Такие исследования проводились эпизодически, для отдельных типов и баллов облачности и в соответствии с методиками, выбранными каждым из исследователей исходя из решаемых задач, возможностей используемой аппаратуры, создание которой для ИК диапазона всегда вызывало значительные технические трудности. В связи с этим была разработана методика проведения экспериментальных исследований пространственного распределения флюктуаций энергетической яркости собственного излучения АФ в ИК диапазоне длин волн.

Экспериментальные исследования состояли из измерений и обработки результатов, направленных на получение математических моделей, описывающих статистические закономерности пространственной структуры флуктуаций энергетической яркости собственного излучения АФ в пределах выбранных фрагментов. Они проводились с использованием специально разработанного измерительно-вычислительного комплекса

(ИВК). Измерения флуктуаций энергетической яркости собственного излучения АФ выполнялись путём растрового сканирования осью двухканального радиометра в выбранном фрагменте АФ. При таких исследованиях радиометр располагался вертикально, изменение положения оптической оси осуществлялось при помощи отклоняющегося зеркала. Перемещение зеркала обеспечивалось управляемым вращением двух шаговых двигателей в азимутальном и угломестном направлении, с выбранным шагом дискретизации. В качестве приёмников оптического излучения применялись пироэлектрические приёмники МГ-30. Микроконтроллер по программе последовательно коммутировал каждый из приёмников через нормирующий усилитель на вход АЦП, где производится преобразование аналогового сигнала в цифровой код, который после окончания преобразования размещался в определённых регистрах статического ОЗУ. После накопления данных, микроконтроллером проводилось выполнение математических операций над промежуточными данными, вычислялось значение математического ожидания и дисперсии, которые затем размещались микроконтроллером во внешней флеш-памяти.

Таким образом, формировались совокупности (или таблицы статистических оценок пространственной структуры флуктуаций энергетической яркости собственного излучения АФ, соответствующих фоновым изображениям (ФИ)), полученные для различных типов и баллов облачности в диапазонах 3–5 и 8–13 мкм. Полученные оценки могут быть представлены в виде таблиц (матриц) или в виде поверхностей распределения, потенциальный рельеф которых соответствует пространственному распределению средних значений или дисперсий энергетической яркости собственного излучения АФ.

Результаты экспериментальных исследований, представленные в виде пространственных распределений средних значений или дисперсий флюктуаций энергетической яркости, позволяют построить математические модели излучения АФ в диапазонах 3–5 и 8–13 мкм. Такие модели необходимы для проведения имитационного математического моделирования процесса обнаружения воздушных объектов на АФ оптико-электронными системами (ОЭС), работающими в диапазонах 3–5 и 8–13 мкм. Результаты математического моделирования необходимы для оценки параметров, используемых для проектирования новых и модернизации существующих ОЭС.

Studies of thermal atmospheric radiation in the infrared range of wavelengths

I.V. Yakimenko (eimt.sbmpei@gmail.com), M.V. Zhendarev, D.A. Gurchenkov, A.S. Nabatchicov, A.M. Mishchenko, E.V. Naidyonov

Smolensk Branch of National Research University "MPEI", 1 Energetichesky proezd, 214013 Smolensk, Russia

The results of experimental studies of spatial structure of self-radiation of atmospheric background (AB) inhomogeneities in the IR spectral range obtained earlier are insufficiently full. These studies were carried out sporadically, for specific types and cloud amounts, and in accordance with methods chosen by each of investigators on the basis of solved tasks, capabilities of the equipment, which creation for the IR range always caused considerable technical difficulties. In this regard, a method of experimental studies of the spatial distribution of AB radiance fluctuations in IR range was developed.

Experimental studies consisted of measurements and processing of results directed to receiving the mathematical models describing statistical regularities of spatial structure of AB radiance fluctuations within the selected fragments. Those were carried out using a specially designed the measuring-computer complex (MCC). Measurements of AB radiance fluctuations were carried out by raster scanning by the axis of the two-channel radiometer in the selected AB fragment. In these studies, the radiometer was placed vertically; the variation of the optical axis position was carried out by means of deviating mirror. The mirror movement was provided by controlled rotation of two stepper motors in azimuth and elevation directions, with the selected sampling interval. Pyroelectric MG-30 receivers were used as receivers of optical radiation.

Microcontroller, according to the program, consistently commuted each of the receivers through a normalizing amplifier to the ADC input, where the analog signal was converted into a digital code which after the end of transformation was placed in appropriate static RAM registers. After data accumulation, microcontroller performed mathematical operations over intermediate data, we calculated the expected value and variance, which are then placed by microcontroller in the external flash memory.

Thus, the sets (or tables of statistical estimates of the spatial structure of radiance fluctuations corresponding to the background images (BI)) obtained for the various types and cloud amounts in the 3–5 and 8–13 mμ spectral ranges were formed. These estimates can be represented in tables (matrices) or in the form of distribution surfaces, which charge pattern corresponds to spatial distribution of mean values or dispersions of AB radiance.

The experimental results presented in the form of spatial distributions of mean values or dispersions of radiance fluctuations allow us to construct mathematical models of AB radiation in the range of 3–5 and 8–13 mμ. Such models are necessary to carry out a simulation of the process of mathematical modeling to detect air targets at atmospheric background by optical-electronic systems (OES), operating in bands of 3–5 and 8–13 mμ. The results of mathematical modeling are needed to estimate parameters necessary for the design of new and the modernization of existing OESs.

К 50-летию радиационно-ветрового радиозонда РРЗ

Воробьев В.А. (v.vorobyev.igce@yandex.ru)
Институт глобального климата и экологии, Глебовская ул. 20б, 107258 Москва, Россия

В 1967 г. В.А. Воробьевым был разработан радиозонд РРЗ для одновременного измерения ионизирующей радиации и параметров ветра до высот 25–30 км. Телеметрическая информация принималась штатной аппаратурой аэрологических станций Госкомгидромета. Модернизированный совместно с Центральной Аэрологической Обсерваторией программный комплекс ОКА позволял принимать, оперативно обрабатывать и выдавать данные о высотном распределении характеристик ветра и интенсивности ионизирующего излучения, а также энергетическом спектре протонов Солнечных космических лучей (СКЛ) в диапазоне 100–500 МэВ во время мощных вспышек на Солнце. В начале 70-х годов радиометрическое стратосферное зондирование было внедрено на выбранной сети аэрологических станций . Она включала 6 наземных станций: Шойна, Мыс Челюскина, Мыс Шмидта, о. Хейса, Дальнереченск, Беллинсгаузен и 6 научно-исследовательских судов и судов погоды: «Прибой», «Проф. Зубов», «Проф. Визе», «Океан», «Академик С.П. Королев», «Виктор Бугаев».

Исследовалась вариация интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) в полярной зоне и в акваториях Атлантического, Тихого и Индийского океанов с циклом солнечной активности. Получены энергетические спектры высокоэнергичных СКЛ во время многочисленных вторжений. Обнаружены существенные неоднородности потоков СКЛ в полярной шапке. Отмечаются значительные вариации высотного хода ионизирующих излучений, в основном связанные с локальными метеорологическими процессами. В результате совместных синхронных измерений галактических космических лучей в космосе на ИСЗ «Метеор» и в стратосфере с помощью радиозондов РРЗ, а также радиозондов ФИАН, возможно зарегистрировано неизвестное ранее явление – влияние переполюсовки магнитного поля солнца на высотный ход ГКЛ в полярной шапке.

По-видимому, настало время поставить вопрос о создании в рамках ВМО Службы Радиационной Погоды в Атмосфере аналогичной Службе Радиационной Погоды в Космосе. Важнейшим элементом в ней должен быть мониторинг ионизирующих излучений на международной сети аэрологических станций с унифицированным радиозондом,

обеспечивающим одновременное измерение радиационных и метеорологических параметров в тропосфере и стратосфере.

To 50th anniversary of the radiation-wind radiosonde RRZ

V.A. Vorobyev (v.vorobyev.igce@yandex.ru)
Institute of Global Climate and Ecology, 20b Glebovskaya str., 107258 Moscow, Russia

In the 1967 year V.A. Vorobyev developed a radiosonde (RRZ) for the simultaneous measurement of ionizing radiation and wind parameters up to altitudes of 25–30 km. The telemetric information was received by the standard equipment of the upper-air stations of the State Committee for Hydrometeorology. The software complex (OKA) was modernized and made it possible to receive, promptly process and provide data on the altitude distribution of wind characteristics and the intensity of ionizing radiation, as well as the energy spectrum of solar cosmic ray protons in the range 100–500 MeV during powerful flares on the Sun. In the early 70-ies radiometric stratospheric sounding were implemented on the selected network of upper-air stations. It included 6 ground stations: Shoyna, Cape Chelyuskin, Cape Schmidt, Heiss, Dalnerechensk, Bellingshauzen and 6 scientific research vessels and weather vessels: "Priboy", "Prof. Zubov", “Prof. Vize"," Ocean "," Academik S.P. Korolev”, “Viktor Bugayev”.

The variation in the intensity of galactic cosmic rays in the polar zone and in the Atlantic, Pacific and Indian oceans with a cycle of solar activity was studied. Energy spectra of high-energy solar protons during numerous intrusions are obtained. Significant heterogeneity of cosmic ray fluxes in the polar cap was found. There are significant variations of ionizing radiation, mainly associated with local meteorological processes. As a result of joint synchronous measurements of galactic cosmic rays in space on the meteorological satellite "Meteor" and in the stratosphere with the help of radiosondes RRZ, as well as radiosondes FIAN, it is possible to record an unknown phenomenon – the effect of polarity reversal of the solar magnetic field on the high-altitude galactic cosmic ray in the polar cap.

Apparently, the time has come to raise the issue Atmosphere Radiation Weather Service as a similar Space Weather Service. The most important element in it should be the monitoring of ionizing radiations on the international network of upper-air stations with a unified radiosonde, which provides simultaneous measurement of radiation and meteorological parameters in the troposphere and stratosphere.

Current and future high spectral resolution spaceborne lidars ATLID and MESCAL: similarities, differences, and challenges

A.G. Feofilov (artem.feofilov@lmd.polytechnique.fr), and LMD ATLID and MESCAL Teams
Laboratoire de Mótóorologie Dynamique, UPMC Univ Paris 06, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France

Clouds are the main modulators of the Earth’s radiative energy budget. At the same time, they still constitute the main source of uncertainty in model-based predictions of future climate. Correspondingly, their properties measured on a global scale are of primary importance for climate science. Out of all observations, only satellite instruments are capable of providing a global record on a long term scale and out of these instruments only active sounding can retrieve the vertical structure of cloud fields.

Since 2003, a new generation of satellite lidar instruments is in operation: starting from ICESat/GLAS (2003-2009) through CALIOP/CALIPSO (2006-present) to new missions: ESA/JAXA ATmospheric LIDar ATLID/EarthCare scheduled to launch at the end of 2018 and CNES-NASA instrument MESCAL (Monitoring the Evolving State of Clouds and Aerosols), which is currently in the development phase.

In this work, we discuss the differences and similarities of CALIOP, ATLID, and MESCAL instruments and address an important capability of two latter ones to distinguish the Rayleigh and Mie backscatter by spectral separation of the incoming radiance. This will let them to estimate extinction and backscatter profiles without assuming the extinction-to-backscatter ratio, which is poorly known, especially for aerosols. The ATLID utilizes an HSRL (High Spectral Resolution Lidar) scheme based on Fabry-Perot etalon. For the MESCAL, two HSRL schemes are in competition: a classical one, with an absorption cell tuned to the transmitter laser frequency, and a new one, with Quadrichannel Mach-Zehnder (QMZ) directly providing particle backscatter ratio from a combination of its four signals.

We address the capabilities of the instruments, discuss the calibration/validation approaches for them, and outline the way the retrieved data will be used in climate studies.

Особенности математического моделирования переноса излучения в поляриметрических и гиперспектральных подходах ДЗЗ

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В., Фомин Б.А., Фалалеева В.А., Колокутин Г.Э, Кузьмичев А.С., Николенко А.А., Страхов П.В., Шурыгин Б.М.

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

Со свойственной советским ученым традицией в начале космической эпохи первые задачи были самые сложные и по-существу определяли направления дальнейших исследований на многие годы вперед. В 70–80-ые годы XX-го века космические исследования принимают массовый характер. Творчеству не было предела и поляризационные задачи оказались востребованными. Следует отметить, что в эти годы математическое моделирование и численное решение задач переноса оптического излучения с учетом его поляризации и деполяризации для различных приложений обеспечивалось в Институте М.В. Келдыша АН СССР, где был огромный вычислительный центр с большими ЭВМ, группой Т.А. Сушкевич и С.А. Стрелкова; расчеты по теории Ми проводились В.П. Шари; в лаборатории Г.В. Розенберга в ИФА АН СССР (Г.И. Горчаков, А.С. Емиленко и др.) проводили натурные измерения матриц рассеяния. Идеологом работы являлся Георгий Владимирович Розенберг, который поляризацией заинтересовался ещё в 1938 году!

Если уравнения Максвелла были сформулированы в 1873 г., то векторное интегро-дифференциальное уравнение переноса поляризованного излучения написано только в 40-ые годы XX века. Основные даты: 1678 г. – Гюйгенс открыл поляризацию света; 1808 г. – Малюс обнаружил поляризацию солнечного света; 1852 г. – сформулирован вектор параметров Стокса; 1871 г. – сформулирован закон Рэлея; 1944–1946 гг. – сформулировано векторное уравнение переноса (В.В. Соболев, С. Чандрасекар, Г.В.Розенберг [1, 2]).

Существенное отличие современных технологий космических исследований от предыдущих касается, преимущественно, технологий приема, обработки и представления космических данных, т.е. лежит в области информационных технологий. При этом резко снизился теоретический и математический уровень в создаваемом программном обеспечении. Работа нашего научного коллектива авторов настоящей публикации отличается высочайшим уровнем теоретико-расчетных исследований, до сих пор превосходящим все зарубежные результаты [3–15].

Работа поддерживается грантами РФФИ (проекты № 15-01-00783, № 17-01-00220) и проектом ОМН-3(3.5) ПФНИ РАН.

1. Розенберг Г.В. Особенности поляризации света, рассеянного атмосферой в условиях сумеречного освещения. Дисс. канд. физ.-мат. наук. Москва. 1946.
2. Розенберг Г.В. Вектор-параметр Стокса (Матричные методы учета поляризации излучения в приближении лучевой оптики) // УФН. 1955, май. Т. LVI, вып. 1. С. 77–110.
3. Стрелков С.А. Численное моделирование переноса поляризованного излучения в плоском слое. Дисс. канд. физ.-мат. наук. Москва. 1986.

4. Численное решение задач атмосферной оптики // Сборник научных трудов ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР / Под ред. Масленникова М.В. и Сушкевич Т.А. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. 1984. 234 с.
5. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Иолтуховский А.А. Метод характеристик в задачах атмосферной оптики. М.: Наука. 1990. 296 с.
6. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2005. 661 с.
7. Стрелков С.А., Сушкевич Т.А. Поляризационные задачи // Энциклопедическая серия «Энциклопедия низкотемпературной плазмы». Тематический том VII-1 «Математическое моделирование в низкотемпературной плазме». М.: Издательство ЯНУС-К. 2009. С. 427–444.
8. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А. Учет диффузного отражения при решении векторного уравнения переноса // Доклады АН СССР. 1983. Т. 271, № 1. С. 89–93.
9. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А. Определение безоблачных участков атмосферы по степени поляризации солнечного света. Поляризационный контраст // В сб.: "Исследование Земли из космоса. Труды VIII научных чтений по космонавтике, Москва, январь 1984" / Под ред. Малкевича М.С., Метальникова А.П., Сушкевич Т.А. – М.: ИИЕТ АН СССР. 1984. С. 91–106.
10. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А. Влияние поляризации излучения в атмосфере и оптическом приборе на измеряемую яркость // В сб.: "Космические исследования. Труды IX научных чтений по космонавтике, Москва, январь 1985." / Под редакцией Малкевича М.С., Метальникова А.П., Сушкевич Т.А. – М.: ИИЕТ АН СССР. 1988. С. 65–69.
11. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Куликов А.К., Максакова С.В. К теории векторного оптического передаточного оператора // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10, № 10. С. 1218–1230.
12. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В. Математическая модель переноса поляризованного излучения // Математическое моделирование. 1998. Т 10, № 7. С. 61–75.
13. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В. Модель дистанционного зондирования земной поверхности (суша, океан) с учетом поляризации излучения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Вып. 4. Т. 2. – М.: Российская академия наук, ИКИ РАН. 2007. С. 109–115.
14. Стрелков С.А., Сушкевич Т.А., Максакова С.В. и др. Перенос поляризованного излучения в гетерогенной системе и кинетический подход // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Вып. 6. Том 2. – М.: РАН, ИКИ РАН. 2009. С. 203–210.
15. Sushkevich T.A., Strelkov S.A., Maksakova S.V. Matrix approach to model of polarized radiation transfer in heterogeneous systems // MATRIX METHODS: Theory, Algorithms and Applications. Dedicated to the Memory of Gene Golub. World Scientific Publishing. 2010. P. 557–578.

Features of mathematical simulation of radiation transfer in polarimetric and hyperspectral approaches to remote sensing

T.A. Sushkevich (tamaras@keldysh.ru), S.A. Strelkov, S.V. Maksakova, B.A. Fomin, V.A. Falaleeva, G.E. Kolokutin, A.S. Kuzmichev, A.A. Nikolenko, P.V. Strakhov, B.M. Shurygin

Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Miusskaya sq. 4, 125047 Moscow, Russia

According to typical Soviet academic tradition, in the beginning of the space era, the first tasks were the most difficult and basically determined the direction of further research for many years to come. In the 70–80s of the XX-th century, space researches take on a mass character. Creativity was boundless and the polarization task has been relevanted. It should be noted that in these years, the mathematical modeling and numerical solution of problems of the optical radiation transfer with the account of the polarization and depolarization for a variety of applications, was provided by group T.A. Sushkevich and S.A. Strelkov in the M.V.Keldysh Institute of the Academy of Sciences of the USSR, where there was a huge computer center with mainframe computer; calculations by the Mie theory were carried out by V.P. Shari. G.I. Gorchakov, A.S. Emilenko, etc. conducted natural measurements of the scattering matrix at the laboratory of G.V. Rosenberg in IFA of the Academy of Sciences of the USSR. The ideologist of the work was Georgy Rosenberg, who was interested in polarization in 1938!

If Maxwell's equations were formulated in 1873, the vector integrodifferential equation of transfer of polarized radiation was written only in 40-es of XX century. Key dates: 1678 – Huygens discovered the light polarization; 1808 – Malus detected the polarization of sunlight; 1852 – the

vector of Stokes parameters was formulated; 1871 – the Rayleigh law was formulated; 1944–1946 – the vector equation of transfer (V.V. Sobolev, S. Chandrasekhar, G.V. Rosenberg) was formulated.

The essential difference of the modern technologies of the space research from the previous ones concerns, mainly, the technologies of reception, processing and presentation of space data, i.e. lies in the field of information technology. This dramatically decreased the theoretical and mathematical level in developed software. The work of the team of authors of this publication is characterized by the highest level of theoretical and numerical studies so far superior to all the foreign results.

The reported study was funded by RFBR according to the research projects 15-01-00783, 17-01-00220 and by project OMN-3(3.5) PFNR RAS.

Оценка качества определения водозапаса облаков по наземным измерениям микроволнового излучения прибором RPG-HATPRO непосредственно до и после выпадения осадков

Косцов В.С. (vlad@troll.phys.spbu.ru), Ионов Д.В., Зайцев Н.А.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Quality assessment of the cloud liquid water path retrievals from ground-based microwave radiation measurements by RPG-HATPRO instrument just before and after rain events

V.S. Kostsov (vlad@troll.phys.spbu.ru), D.V. Ionov, N.A. Zaitsev
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504, Saint-Petersburg, Russia

The cloud liquid water path (LWP) data derived from microwave observations by the RPG-HATPRO instrument that has been operating at St.Petersburg University since June 2012 have been analysed. The estimations of bias and random error of the LWP retrievals have been obtained for warm and humid observational conditions and dry and cold conditions as well. Special attention has been paid to the analysis of the quality of the LWP retrievals just before and after rain events that have been detected by the built-in rain sensor. The estimation has been done of the time period before and after a rain event when the retrieval quality can be considered as insufficient due to wetting of the instrument. Several criteria are proposed for estimating accurately in every particular case the duration of the instrument malfunction period after a rain event until water evaporates from the surface of the radome. The analysis has shown that maximal time period of the instrument malfunction after a rain event is equal to 6 hours.

Measurements and data processing were supported by Russian Science Foundation through the project No. 14-17-00096. Data analysis was supported by Russian Foundation for Basic Research through the project No. 16-05-00681.

Характеристики изменчивости концентраций метана в окрестностях Санкт-Петербурга

Арабаджян Д.К.[1] (dina_ar@rambler.ru), Макарова М.В.[1], Поберовский А.В.[1], Тимофеев Ю.М.[1], Парамонова Н.Н.[2]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия*

Приведены результаты измерений приземных концентраций метана в пригороде Санкт-Петербурга (Петергоф, 59.88° N, 29.83° E), полученные с января 2013 г. по октябрь 2016 г. Проведенный анализ суточных ходов по средним значениям показал, что максимальные

амплитуды наблюдаются в период с июня по сентябрь (3–5 %), минимальные – в ноябре–декабре (0.7 –1 %). Из анализа годовых ходов видно, что максимумы концентраций метана отмечаются в зимне–весенний период, минимумы – в летний. Также отмечен рост амплитуд от 3.8 % в 2013 году до 6.3 % в 2016 году. Оценки трендов концентрации метана за рассматриваемый период показали рост со скоростью (0.45 ± 0.04) %/год. Полученное нами значение тренда хорошо согласуется с независимыми оценками: (0.31 ± 0.03) %/год за период 2005–2014 гг. и 0.47 %/год в 2012–2015 гг., полученными в работах [1] и [2] соответственно.

Сравнение годовых изменений регионального фона концентраций CH_4 для станции Петергоф за 2013–2016 г. было проведено с аналогичными величинами, полученными для следующих станций GAW WMO: Pallas-Sammaltunturi, Teriberka, Neuglobsow и Mace Head. Получено, что максимальные значения концентраций для всех станций приходятся на зимний период, минимальные – на летний. Данные станции Петергоф лежат в интервале ± 20 ppbV относительно других станций.

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

1. Bader W., Bovy B., Conway S., et al. The recent increase of atmospheric methane from 10 years of ground-based NDACC FTIR observations since 2005 // Atm. Chem. Physics. 2017. Vol. 17. P. 2255–2277, doi: 10.5194/acp-17-2255-2017.
2. WMO Greenhouse Gas Bulletins за 2013–2016 гг. http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html (дата обращения: 15.03.17)

Characteristics of methane concentrations variability near St. Petersburg

D.K. Arabadzhian[1] (dina_ar@rambler.ru), M.V. Makarova[1], A.V. Poberovskii[1], Yu.M. Timofeyev[1], N.N. Paramonova[2]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia*

The measurement data (from January 2013 to October 2016) of methane mole fractions in the ambient air near St. Petersburg (Peterhof, 59.88° N, 29.83° E) are presented. The analysis of monthly mean diurnal CH_4 variations showed that the maximum amplitudes were observed from June to September (3–5 %), the minimum – from November to December (0.7–1 %). CH_4 mole fractions maxima of annual cycle are recorded during cold period, minima – in summer. Also the increase in amplitudes from 3.8 % in 2013 year to 6.3 % in 2016 year was noted. CH_4 concentration trend for the Peterhof site estimated over the four-year period (2013–2016) is (0.45 ±0.04) %/yr^{-1}. Our value is in good agreement with the independent estimates of methane trend, for example, (0.31 ± 0.03) %/yr^{-1} for 2005–2014 [1], and 0.47%/yr^{-1} for 2012–2015 [2].

Comparison of the annual cycle of CH_4 background concentrations for the Peterhof station was carried out with the similar values for the following WMO GAW stations: Pallas-Sammaltunturi, Teriberka, Neuglobsow and Mace Head. Maximal concentrations for all stations belong to winter period, minimal – to summer. Peterhof station data agree with other stations within the range of ± 20 ppbV.

This study was funded by the Russian Science Foundation, project 14-17-00096. Measurement facilities were provided by Geo Environmental Research Center “Geomodel” of Saint-Petersburg State University.

1. Bader W., Bovy B., Conway S., et al. The recent increase of atmospheric methane from 10 years of ground-based NDACC FTIR observations since 2005 // Atm. Chem. Physics. 2017. Vol. 17. P. 2255–2277, doi: 10.5194/acp-17-2255-2017.
2. WMO Greenhouse Gas Bulletins за 2013–2016 гг. http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/GHGbulletin.html

Анализ изменения концентрации CO_2 в атмосферном воздухе в Петергофе с 2013 по 2016 гг.

Фока С.[1] (stesy16@mail.ru), Макарова М.В.[1], Поберовский А.В.[1], Парамонова Н.Н.[2]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, Россия*
[2]*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия*

Целью работы был анализ временных вариаций CO_2 на станции Петергоф (59.88° с.ш., 29.90° в.д.) для разных временных масштабов: начиная с дневного хода и заканчивая годовым трендом. Измерения концентраций углекислого газа проводились в СПбГУ с помощью газоанализатора Los Gatos Research Greenhouse Gas Analyzer 24r-EP с января 2013.

Амплитуда суточного хода в теплое время года постепенно снизилась с 50 ppmv в 2013 году до 30 ppmv в 2016 году (13 %–8 %). Годовой ход диоксида углерода ярко выражен за все 4 года: высокие концентрации характерны для холодных времён года, а низкие – для тёплых времён года. Скорость роста концентрации углекислого газа для станции Петергоф (СПбГУ), составляет 2.44 ppmv/год, что хорошо согласуется с данными независимых измерений на сети станций NOAA (2.64 ± 0.26) ppmv/год.

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

Analysis of the CO_2 concentration variations in the ambient air at the Peterhof station for 2013–2016

Stephanie Foka[1] (stesy16@mail.ru), Maria Makarova[1], Anatoly Poberovskii[1], Nina Paramonova[2]
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia*

The main target of the research was to analyze the temporal variations of CO_2 concentrations observed at the Peterhof site (59.88° N, 29.90° E) for the different time scales: from diurnal cycle to the trend. High accuracy measurements of CO_2 concentrations in the ambient air are being carried out at Saint Petersburg State University by Los Gatos Research Greenhouse Gas Analyzer 24r-EP from 2013.

From 2013 to 2016 the diurnal cycle of CO_2 concentrations gradually decreased from 50 ppm to 30 ppm (from 13 % to 8 %). CO_2 annual cycles for all four years of measurements are in a good agreement with each over: the highest concentrations are specific for cold seasons, when the least concentrations are specific for warm season. The growth rate of CO_2 at the Peterhof site estimated for 2013–2016 is (2.44 ± 0.59) ppmv/yr, which is in good agreement with Mauna Loa trend (2.55 ± 0.11) ppmv/yr for 2013–2016 and global growth rates (2.64 ± 0.26) ppmv/yr for 2013–2016.

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

Наземные измерения общего содержания CCl_3F, CF_2Cl_2, CHF_2Cl над Петергофом в период 2009–2017 гг

Поляков А.В. (a.v.polyakov@spbu.ru), Макарова М.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М., Виролайнен Я.А., Имхасин Х.Х.

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

Парниковые газы – ХФУ-11 (CCl_3F), ХФУ-12 (CCl_2F_2) и ГХФУ-22 (CHF_2Cl) – являются источниками хлора в стратосфере и играют важную роль в химии стратосферного озона. Поэтому измерение их содержания в атмосфере является важной задачей.

Значения общего содержания (ОС) ХФУ-11, CFC-12 и ГХФУ-22 были получены на основе измерений солнечного излучения в инфракрасной области спектра над Петергофом в Санкт-Петербурге (~ 30° в.д, 60° с.ш.) с 2009 года по настоящее время. Восстановление ОС газов на основе спектральных данных выполняется применяемой в сети NDACC компьютерной программой SFIT4. Мы используем спектральные окна 830–860 $см^{-1}$ для ХФУ-11, 922.5–933.6 $см^{-1}$ для ХФУ-12 и 828.75–829.4 $см^{-1}$ для ГХФУ-22. В качестве априорной информации использовались модельные профили состава атмосферы WACCM v 6 и профили температуры NCEP. Оценки погрешностей с применением метода SFIT-4 показали, что систематические и случайные ошибки составляют 7.5 и 3.7 % для ХФУ-11, 3.6 и 3.2 % для ХФУ-12 и 4.3 и 3.6 % для ГХФУ-22. DOFS для всех трех газов близка к 1, что не позволяет получить информацию о их вертикальном распределении. ОС всех трех газов чувствительны к вариациям в тропосфере и нижней стратосфере с максимумом чувствительности на высотах от 5 до 10 км.

Для ХФУ-11 среднее значение составляло $5.0 \cdot 10^{15}$ $см^{-2}$, стандартное отклонение (СО) $0.27 \cdot 10^{15}$ $см^{-2}$ и наклон – 1.3 % в год. Для ХФУ-12 среднее значение ОС составляет $11.0 \cdot 10^{15}$ $см^{-2}$, SD равно $0.65 \cdot 10^{15}$ $см^{-2}$, а наклон – 0.6 % в год, а для ГХФУ-22 эти значения составляют $4.4 \cdot 10^{15}$ $см^{-2}$, $0.59 \cdot 10^{15}$ $см^{-2}$ и + 3.0 %. Вышеуказанные значения не противоречат независимым данным.

Наземные данные FTIR сравнивались с подобранными по критерию пространственной близости спутниковыми данными ACE-FTS. Поскольку спутниковые профили не измерялись ниже 5 км, мы добавили для меньших высот значения по среднемесячным данным WACCM v6 и вычислили ОС для составных профилей. Оказалось, что для всех трех газов изменчивость ОС по наземным измерениям намного выше, чем для спутниковых данных. Кроме того, наземные измерения для ХФУ-11 переоценивают спутниковые данные в среднем на 30 %, а для ХФУ-12 – на 12 %. Для ГХФУ-22, в среднем, наблюдается хорошее согласие между спутниковыми и наземными данными. Значения скорости роста (убывания) ОС наземных и спутниковых измерений близки для каждого из трех газов.

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

Ground-based measurements of CCl_3F, CF_2Cl_2, CHF_2Cl above Peterhof (2009–2017)

A.V. Polyakov (a.v.polyakov@spbu.ru), M.V. Makarova, A.V. Poberovskii, Yu.M. Timofeev, Yu.A. Virolainen, H.H. Imhasin

Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

Greenhouse gases – CFC-11 (CCl_3F), CFC-12 (CCl_2F_2) and HCFC-22 (CHF_2Cl) – are chlorine sources in the stratosphere and play an important role in stratospheric ozone chemistry. Therefore, the measurement of their contents in the atmosphere is an important problem.

A series of CFC-11, CFC-12 and HCFC-22 total columns (TC) have been obtained from the Fourier transform infrared (FTIR) measurements above Peterhof near Saint-Petersburg, Russian Federation (~ 30° E, 60° N) since 2009 up to now. TC retrievals were performed using the well-

established SFIT4 code. We used spectral windows 830–860 cm^{-1} for CFC-11, 922.5–933.6 cm^{-1} for CFC-12 and 828.75–829.4 cm^{-1} for HCFC-22. Model profiles of atmospheric content (WACCM v 6) and temperature (NCEP) were used as a priori information.

Estimates of retrieval errors using the SFIT-4 method have shown that systematic and random errors are 7.5 % and 3.7 % for the CFC-11, 3.6% and 3.2% for CFC-12 and 4.3% and 3.6% for HCFC-22. DOFS for all three gases is close to 1 that does not allow obtaining the information on their vertical distribution. The FTIR data for all three species are sensitive to the whole troposphere and the lowermost stratosphere, with the highest sensitivity between 5 and 10 km. For CFC-11, the TC mean value is $5.0 \cdot 10^{15} cm^{-2}$, SD is $0.27 \cdot 10^{15} cm^{-2}$ and slope is – 1.3% per year. For CFC-12, the TC mean value is $11.0 \cdot 10^{15} cm^{-2}$, SD is equal to $0.65 \cdot 10^{15} cm^{-2}$ and slope is – 0.6% per year. For HCFC-22 the same values are $4.4 \cdot 10^{15} cm^{-2}$, $0.59 \cdot 10^{15} cm^{-2}$ and + 3.0 %. The above values are not disagreeable with independent data.

The ground-based measurements were compared with the spatially colocated satellite ACE-FTS data. Since the satellite profiles were not measured below 5 km, we added the average monthly WACCM v6 data for smaller heights and calculated the TC for composite profiles. It has been shown that for all three gases, the TC variability from ground-based measurements is much higher than in the case of satellite data. Besides, ground measurements for CFC-11 overestimate the satellite data by an average of 30 %, and for CFC-12 by 12 %. For HCFC-22, on average, there is good agreement between satellite and ground-based data. The ground-based and satellite slope values are close for all three gases.

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

Определение водозапаса облаков по данным МКВ радиометра RPG-HATPRO с использованием метода множественной линейной регрессии

Бирюков Е.Ю. (rekr90@gmail.com), Косцов В.С.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, Россия

Liquid water path retrieval from the microwave radiometer RPG-HATPRO data using multiple linear regression algorithm

E.Yu. Biryukov (rekr90@gmail.com), V.S. Kostsov
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

The multiple linear regression algorithm (LREA) has been adjusted to RPG HATPRO data for liquid water path (LWP) retrieval. The retrieval errors have been estimated on the basis of numerical experiments. The algorithm's response to input data failures has been investigated for LREA. The bias estimations have been made for this algorithm using cloud free observation periods. Also, comparison between three retrieval algorithms has been made: (1) LREA; (2) a built-in operational quadratic regression algorithm (QREA) of LWP retrieval supplied by the manufacturer of the RPG HATPRO microwave radiometer; (3) a so-called physical algorithm (PHA) based on the inversion of the radiative transfer equation. For low LWP values the rms discrepancy between QREA and PHA constituted 0.008 kg/m^2; the rms discrepancy between LREA and PHA constituted 0.009 kg/m^2. For high LWP values the rms discrepancy between QREA and PHA constituted 0.030 kg/m^2; the rms discrepancy between LREA and PHA constituted 0.023 kg/m^2.

Measurements and data processing were supported by Russian Science Foundation through the project No. 14-17-00096. Data analysis was supported by Russian Foundation for Basic Research through the project No. 16-05-00681.

Определение характеристик наземной ИК спектральной аппаратуры для мониторинга атмосферы

Макарова М.В.[1] (zaits@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В.[1], Hase F.[2], Имхасин Х.Х.[1]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, Россия*
[2]*Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Meteorology and Climate Research, Karlsruhe, Germany*

Retrieval of the characteristics of ground-based IR spectral instrumentation for the environmental monitoring of the atmosphere

M.V. Makarova[1] (zaits@troll.phys.spbu.ru), A.V. Poberovskii[1], F. Hase[2], Kh. Kh. Imhasin[1]
[1]*Saint Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Meteorology and Climate Research, Karlsruhe, Germany*

Ground-based high resolution instrumentation for FTIR observations of gaseous composition of the atmosphere started measurements in Peterhof (St. Petersburg site, IRWG/NDACC) in 2009, it consists of the solar tracking system designed at SPbU and FTIR spectrometer Bruker IFS125HR with spectral resolution up to ~ 0.002 cm^{-1}. The importance of the assimilation of real instrumental line shape in ground-based solar IR spectra processing was demonstrated for the case of methane total column amount retrievals in the atmosphere. Proposed spectral intervals allow obtaining the information on instrument's parameters and controlling the optical alignment of the instrument for each atmospheric spectrum in the case if the spectrum was measured together with the HBr cell.

Investigations were funded by the Russian Science Foundation, project #14-17-00096. Measurement facilities were provided by Geo Environmental Research Center "Geomodel" of Saint-Petersburg State University.

Исследование сезонной изменчивости состава атмосферного аэрозоля вблизи Санкт-Петербурга

Миронова С.Ю., Миронов Г.Н., Михайлов Е.Ф. (eugene.mikhailov@spbu.ru), Рышкевич Т.И., Власенко С.С.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Прогнозирование возможных изменений климата Земли представляет собой одну из наиболее серьезных фундаментальных проблем всего комплекса наук о нашей планете вообще и физики атмосферы в частности. На поверхности аэрозольных частиц происходят разнообразные гетерогенные химические реакции, они участвуют в процессе переноса солнечной радиации, выступают в качестве ядер конденсации. Исследование состава и микрофизических свойств фоновых аэрозолей имеет большое значение для построения моделей, описывающих естественные климатические изменения. Важной задачей защиты окружающей среды является мониторинг за процессами поступления и оттока из атмосферы загрязняющих компонент и определение источников атмосферного аэрозоля. К числу важнейших типов атмосферного аэрозоля относятся частицы органических соединений.

В данной работе представлены результаты измерений состава атмосферного аэрозоля в пригороде Санкт-Петербурга за период с января 2013 по март 2017 года. Станция для отбора аэрозоля находится на Физическом факультете СПбГУ на высоте 15 метров. Отбор проб производился непрерывно, фильтры менялись каждые 4 дня. Кроме того, с помощью ионного хроматографа LC-20 Prominence фирмы Shimadzu был произведен анализ химического состава отобранных образцов. Сделан вывод о низком уровне содержания аэрозолей в Петродворцовом районе Санкт-Петербурга. Средняя массовая концентрация аэрозольного углерода за исследованный период составила около 3 мкг/м^3. Построение обратных траекторий движения воздушных масс позволило выявить очаги, влияющие на уровень содержания аэрозоля в приземном слое атмосферы вблизи Санкт-Петербурга.

Работа выполнена при поддержке СПбГУ (тема 11.37.220.2016) и с использованием аппаратуры ресурсных Центров «Геомодель» и «Методы анализа состава вещества».

The study of seasonal variability of atmospheric aerosol composition near Saint-Petersburg

S.Yu. Mironova, G.N. Mironov, E.F. Mikhailov (eugene.mikhailov@spbu.ru),
T.I. Ryshkevich, S.S. Vlasenko
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

Predicting possible changes in the Earth's climate is one of the most serious fundamental problems of the entire complex of sciences about our planet in general and atmospheric physics in particular. Various heterogeneous chemical reactions occur on the surface of aerosol particles, those participate in the process of solar radiation transfer, acting as condensation nuclei. Investigation of the composition and microphysical properties of background aerosols is of great importance for constructing models describing natural climatic changes. An important task of protecting the environment is to monitor the processes of incoming and outgoing pollutants from the atmosphere and to determine the sources of atmospheric aerosol. Particles of organic compounds are among the most important types of atmospheric aerosol.

In this paper, the results of measurements of the composition of atmospheric aerosol in the suburbs of St. Petersburg for the period from January 2013 to March 2017 are presented. The aerosol sampling station is located at the Physical Faculty of St. Petersburg State University at a height of 15 meters. Sampling was continuous, filters were changed every 4 days. In addition, an analysis of the chemical composition of the selected samples was carried out using an LC-20 Prominence ion chromatograph from Shimadzu. It has been concluded that the level of aerosols in the Petrodvorets district of St. Petersburg is low. The average mass concentration of carbon aerosol for the period under study was about 3 $\mu g/m^3$. The construction of inverse trajectories of air mass movement mades it possible to identify foci affecting the level of aerosol content in the near-surface layer of the atmosphere near St. Petersburg.

The work was supported by SPbU (11.37.220.2016) and using facilities of Resource Centers "Geomodel" and "Methods of Analysis of the Matter Composition".

Интерпретация слабых эхо-сигналов лидарного зондирования атмосферы

Егоров А.Д. (egorovad@rambler.ru), Потапова И.А., Саноцкая Н.А.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматриваются вопросы достоверности [1], с которой могут быть определены параметры аэрозоля методами лидарного зондирования. Разрабатываются линеаризованные алгоритмы обработки сигналов лидарного зондирования слабо замутненной атмосферы. В случае оптически однородной атмосферы с постоянными коэффициентами ослабления и обратного рассеяния лидарное уравнение не содержит интегральных величин. Задача состоит в определении неизвестных постоянных: фоновой засветки и коэффициента ослабления. С этой целью осуществляется линеаризация задачи с использованием предварительно вычисленных значений коэффициента ослабления. Для того, чтобы найти их величины с минимальными погрешностями, используется метод наименьших квадратов.

Представлены результаты определения коэффициента ослабления при осреднении по нескольким десяткам импульсов [2]. Для сравнения представлены результаты определения коэффициента ослабления при посылке одного импульса. В данном случае предложенный алгоритм не обеспечил достаточную точность. Для повышения точности предлагается метод наименьших квадратов с использованием предварительно заданной фоновой засветки.

Исследование выполнено для типичных параметров аэрозоля слабо замутненной атмосферы и для реалистических характеристик лидаров.

1. Yegorov, A.D., Kopp, I.Z., Perelman, A.Y. Air aerosol pollution and lidar measurements // Proc. SPIE 2505. 1995. P. 38–43.
2. Yegorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. et al. Atmospheric aerosols measurements and reliability problem: new results // Int. J. Rem. Sen. 2014. Vol. 35. P. 5750–5765.

Interpretation of weak echo signals of atmosphere lidar probing

A.D. Yegorov (egorovad@rambler.ru), I.A. Potapova, N.A. Sanotskaya
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky pr., 195196 St. Petersburg, Russia

This paper considers the questions of the reliability [1], with which the aerosol parameters can be defined by the lidar probing methods. The linearized digital signal processing algorithms are developed for lidar probing of a weakly turbid atmosphere. The lidar equation does not contain the integral quantities in the case of optically homogeneous atmosphere with constant extinction and backscattering coefficients. The problem is to determine the unknown constants: the background light and the extinction coefficient. The linearization of the problem is carried out for this purpose using pre-calculated values of the extinction coefficient. Least squares method is used to find their values with the minimum errors.

The results of determination of extinction coefficient are presented for averaging of several dozens of pulses [2]. For comparison the results of determination of the extinction coefficient are presented for sending one pulse. In this case, the proposed algorithm does not provide enough accuracy. To improve accuracy it is proposed the method of least squares using predetermined background light. The study was performed for typical aerosol parameters in weakly turbid atmosphere and realistic characteristics of lidars.

1. Yegorov, A.D., Kopp, I.Z., Perelman, A.Y. Air aerosol pollution and lidar measurements // Proc. SPIE 2505. 1995. P. 38–43.
2. Yegorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. et al. Atmospheric aerosols measurements and reliability problem: new results // Int. J. Rem. Sen. 2014. Vol. 35. P. 5750–5765.

Исследование приповерхностных ветровых потоков по их проявлениям на морской поверхности

Титов В.И. (titov@hydro.appl.sci-nnov.ru), Баханов В.В., Демакова А.А., Лучинин А.Г., Репина И.А.
Институт прикладной физики, ул. Ульянова 46, 603950 Н. Новгород, Россия

В работе обсуждаются принципы диагностики приповерхностного ветра по оптическим пространственно–временным изображениям поверхности моря в различных участках оптического спектра. Приводятся методы восстановления скорости распространения и направления приповерхностных катабатических ветровых потоков, а также пространственного распределения скорости ветра по проявлениям ветровых потоков на морской поверхности при скользящих углах наблюдения. Разработан оптический многоканальный мультиспектральный комплекс для регистрации пространственно–временных изображений морской поверхности, состоящий из синхронизированных оптических приемников, имеющих спектральную чувствительность в разных участках оптического спектра. Проведены натурные исследования приповерхностных ветровых потоков на Черном море с помощью оптического комплекса. Приводятся примеры проявлений нестационарных ветровых потоков на морской поверхности.

Исследования проведены при поддержке РФФИ (гранты 16-05-00858а, 15-05-07726а).

Investigation of near-surface wind gusts by its manifestation on sea surface

V.I. Titov (titov@hydro.appl.sci-nnov.ru), V.V. Bakhanov, A.A. Demakova, A.G. Luchinin, I.A. Repina

Institute of Applied Physics RAS, 46 Ulyanova str., 603950 Nizhny Novgorod, Russia

The principles of remote sensing of near-surface wind using optical spatial-temporal images of sea surface in various ranges of optical spectra are discussed. The technique for retrieval of wind gusts velocity and spatial distribution of wind velocity by manifestations of wind gusts on a sea surface under grazing angles is presented. The multichannel set of optical devices for registration of spatial-temporal images of sea surface in various ranges of optical spectra was developed. Examples of manifestations of instable winds gusts recorded on the Black sea are presented.

Особенности применения СВЧ-радиометрических комплексов дистанционного зондирования с борта БПЛА

Воробьев В.В., Кирпанев Н.А., Рыбаков Ю.В. (y.rybakov@mail.ru)

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

СВЧ-радиометрия (СВЧ-РМ) – метод, основанный на приеме собственного излучения подстилающей поверхности, эффективный способ дистанционного зондирования, позволяющий определять такие важные геофизические параметры как влажность почвы, соленость акваторий, осуществлять контроль ледовой обстановки, пожароопасность лесов и торфяников. Общепризнанным достоинством СВЧ-РМ является всепогодность и относительная дешевизна и простота аппаратуры, а главным недостатком – низкая разрешающая способность, ограниченная размерами апертур используемых антенн. К настоящему времени для решения региональных задач со спутниковых и самолетных платформ выполнены многочисленные работы, подтвердившие перспективность СВЧ-РМ, но для наиболее востребованных крупномасштабных (локальных) задач применение этих платформ часто экономически неэффективно и технически малопригодно из-за низкой разрешающей способности.

Использование в качестве платформ беспилотных летающих аппаратов (БПЛА) позволяет за счет малой высоты полета 50–300 м повысить разрешение на местности, а за счет более низкой стоимости платформ и эксплуатации повысить рентабельность работ. Примерами подобных успешных проектов, реализованных в 2008–2014 гг., являются:

– проект Miramap (Нидерланды) – размещение радиометра L-диапазона на подвеске БПЛА вертолетного типа для обнаружения скрытых протечек под земляными дамбами;

– проект Ariel (Испания) – размещение радиометра L-диапазона на подвеске БПЛА самолетного типа для картирования влажности различных с/х полей.

Использовался один канал с печатной антенной, дающей ΔΘ–3дБ ~ 20–30°. Общий вес полезной нагрузки 8 кг и 3 кг. Картирование осуществлялось за счет совмещения последовательных трассовых однолучевых измерений. Аналогичный проект можно создать на базе малого БПЛА-летающее крыло (ЗАО «Институт телекоммуникаций»), при этом необходимо разработать плоскую, очень легкую печатную антенну с габаритами 0.8 х 0.4 м, размещаемую внутри под фюзеляжем БПЛА.

Картирование за счет совмещения последовательных многолучевых измерений позволяет существенно уменьшить количество пролетов над одной территорией. Еще более эффективна реализация в одной апертуре нескольких частотных каналов для одновременного решения разных задач. Данную систему можно реализовать на базе двухзеркальной тороидальной антенны Т-90, разработанной для одновременного приема TV-сигнала в Ku-диапазоне (10.7–12.7 ГГц) в секторе ± 30° по азимуту и ± 20° по углу места 14-

ю каналами. Габариты приемного модуля составляют примерно 1 x 1 x 0.5 м^3. Вес антенны 14 кг, общий вес 30–40 кг. Система является антенной оптического типа, может работать в других диапазонах, в частности C = 3.4–4.2 ГГц и S = 2.5–2.7 ГГц, в которых существует широкая номенклатура доступных компонент, пригодных для построения СВЧ-приемных модулей. В качестве платформы удобно использовать средний БПЛА вертолетного типа фирмы РАДАР ММС.

Features of application of microwave radiometric remote sensing complex made from UAV

V.V. Vorobiev, N.A. Kirpanev, Y.V. Rybakov (y.rybakov@mail.ru)
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

Very high frequency radiometry (VHF-RM) – method based on the reception of the intrinsic radiation of the underlying surface, an effective method of remote sensing, which makes it possible to determine such important geophysical parameters as soil moisture, salinity of the water areas, to control ice conditions, fire danger of forests and peat lands. The universally recognized advantage of VHF-RM is all-weather and relative low-cost and simplicity of the equipment, the main disadvantage is the low resolution limited by the dimensions of the apertures of the antennas used. By now numerous works have been performed to solve regional problems from satellite and airplane platforms, which have confirmed the perspective and potential of VHF-RM, but for the most popular large-scale (local) tasks the application of these platforms is often economically and technically inadequate because of low resolving power.

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) as platforms makes it possible to increase the resolution on the terrain due to low flight attitude of 50–300 m, and to increase the profitability of operations due to the lower cost of platforms and operation. Examples of successful projects implemented in 2008–2014 are:

– Project Miramap (Nederland) – placement of an L-band radiometer on a helicopter-type UAV suspension to detect hidden leaks under earthen dams;

– Project Ariel (Spain) – placement of the L-band radiometer on the aircraft type UAV suspension for mapping humidity of various agricultural fields.

One channel with printed antenna providing ΔΘ –3дБ ~ 20–30° was used. The total weight of the payload is 8 kg and 3 kg. Mapping was carried out by combining successive path single-beam measurements. A similar project can be created on the basic of the small UAV-flying wing (CJSC “Institute of Telecommunications”), while it is necessary to develop a flat, very light printed antenna with dimensions 0.8 x 0.4 m, located inside the fuselage of the UAV.

Mapping by combining successive multi-beam measurements can significantly reduce the number of spans over one territory. The implementation in a single aperture of several frequency channels for simultaneous solution of different tasks is even more effective. This system can be implemented on the basis of a two-mirror toroidal T-90 antenna designed for simultaneous reception of a TV signal in Ku-band (10.7–12.7 GHz) in the sector ± 30° in azimuth and ± 20°in the elevation by 14 channels. The dimensions of the receiving module are approximately 1 x 1 x 0.5 m^3. The antenna weight is 14 kg, the total weight is 30–40 kg. The system is an optical type antenna, it can work in other bands, in particular C = 3.4–4.2 GHz and S = 2.5–2.7 GHz, in which there is a wide range of available components suitable for building microwave receiving modules. As a platform, it is convenient to use an average helicopter-type UAV of the RADAR MMS Company.

Измерения потоков атмосферной радиации бортовым актинометрическим комплексом с самолета-лаборатории

Колокутин Г.Э. (gregorylost@yandex.ru), Петров В.В., Фомин Б.А.
Центральная аэрологическая обсерватория, ул. Первомайская 3, 141700 Долгопрудный Моск. обл., Россия

Начиная с 2014 года, летающая лаборатория ЯК-42Д «РОСГИДРОМЕТ» выполнила более 75 полетов. Летные эксперименты проводились в разные сезоны, в облачной и безоблачной атмосфере, в условиях различной синоптической ситуации; районы полетов имели широкую географию. В исследовательских полетах непрерывно работал бортовой актинометрический комплекс, разработанный для измерений восходящих и нисходящих потоков атмосферной радиации (солнечной, тепловой и ультрафиолетовой). В докладе основное внимание уделяется результатам актинометрических измерений, проведенных в период с 2014 по 2017 годы, и комплексному подходу к их интерпретации с помощью данных с других аппаратно-программных комплексов и геоинформационных систем.

Работа поддержана грантом РФФИ 17-01-00220.

Measurements of atmospheric radiation fluxes by an on-board actinometric complex on aircraft-laboratory

G.E. Kolokutin (gregorylost@yandex.ru), V.V. Petrov, B.A. Fomin
Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny Moscow reg., Russia

Since 2014, the flying laboratory YAK-42D "ROSHYDROMET" performed more than 75 flights. Flight experiments were conducted in different seasons, in a cloudy and cloudless atmosphere, in conditions of a different synoptic situations; the regions of flights had a wide geography. The airborne actinometric complex, designed for measurements of upwelling and downwelling fluxes of atmospheric radiation (solar, thermal and ultraviolet) was continuously operating in research flights. The report focuses on the results of actinometric measurements conducted during the period from 2014 to 2017, and on integrated interpretation using data from other onboard hardware-software complexes and geo-information systems.

Investigations were supported by Russian Foundation for Basic Research (grant 17-01-00220).

Оценка точности измерения общего влагосодержания в Петергофе: сопоставление данных ИК, МКВ и ГНСС методов

Виролайнен Я.А.[1] (yana.virolainen@spbu.ru), Тимофеев Ю.М.[1], Косцов В.С.[1], Ионов Д.В.[1], Калинников В.В.[2], Поберовский А.В.[1], Зайцев Н.А.[1], Имхасин Х.Х[1]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская 18, 420008 Казань, Россия*

Взаимное сопоставление различных методов и приборов для измерения общего содержания водяного пара (ОСВП) является необходимой частью оценки точности измерений самих методов. Мы сопоставили синхронизированные по времени данные измерений ОСВП инфракрасным Фурье-спектрометром Bruker 125 HR (ИК), микроволновым радиометром RPG-HATPRO (МКВ) и приемником глобальной навигационной спутниковой системы Novatel ProPak-V3 (ГНСС). Измерения проводились в Петергофе в период с августа 2014 г. по октябрь 2016 г.

В целом, все три метода хорошо согласуются друг с другом и, таким образом, могут быть использованы для мониторинга влагосодержания на станции СПбГУ в Петергофе. Мы показали, что качество измерений МКВ и ГНСС-методами зависит от состояния атмосферы. Так, при низком влагосодержании (при величинах ОСВП меньших 5–6 мм) в Петергофе, погрешности измерения ОСВП этими методами значительно выше, чем погрешности ИК-

метода. Мы получили оценки сверху случайных погрешностей измерения ОСВП каждым из трех методов в условиях безоблачной атмосферы. Они составляют 0.34 ± 0.02, 0.52 ± 0.03 и 0.78 ± 0.04 мм для ИК, ГНСС и МКВ-методов, соответственно. Также мы показали, что для достижения наилучшего согласия между различными методами, определяющими ОСВП, необходимо стремиться к максимально возможному их пространственно-временному согласованию.

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

Quality assessment of integrated water vapour measurements in Peterhof: FTIR vs. MW and GPS techniques

Yana A. Virolainen[1] (yana.virolainen@spbu.ru), Yury M. Timofeyev[1], Vladimir S. Kostsov[1], Dmitry V. Ionov[1], Vladislav V. Kalinnikov[2], Anatoly V. Poberovsky[1], Nikita A. Zaitsev[1], Hamud H. Imhasin[1]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*Kazan (Volga region) Federal University, 18 Kremlyovskaya str., Kazan, Russia*

The cross-comparison of different techniques for atmospheric integrated water vapour (IWV) measurements is the essential part of their quality assessment protocol. We inter-compare the synchronised datasets of IWV values measured by Fourier-transform infrared spectrometer Bruker 125 HR (FTIR), microwave radiometer RPG-HATPRO (MW) and global navigation satellite system receiver Novatel ProPak-V3 (GPS) in Peterhof between August 2014 and October 2016.

Generally, all three techniques agree well with each other and therefore are suitable for monitoring of IWV values at SPbU site in Peterhof. We show that GPS and MW data quality depends on the atmospheric conditions; in dry atmosphere (IWV smaller than 5–6 mm), these techniques are less reliable in Peterhof than FTIR method. We evaluate the upper bound of statistical measurement errors for clear-sky conditions as 0.34 ± 0.02, 0.52 ± 0.03 and 0.78 ± 0.04 mm for FTIR, GPS and MW methods, respectively. We conclude that the high quality of spatio-temporal matching of different IWV measurements is necessary for achieving the better agreement between various methods for IWV monitoring.

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

Эмпирические оценки погрешностей измерений общего содержания озона различными методами и приборами в районе Санкт-Петербурга

Виролайнен Я.А.[1] (yana.virolainen@spbu.ru), Тимофеев Ю.М.[1], Поберовский А.В.[1], Поляков А.В.[1], Шаламянский А.М.[2]

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

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

Знание погрешностей измерительных методов является одним из важнейших условий оценки качества экспериментальных данных. Мы провели сопоставления различных методов и приборов для измерения общего содержания озона (ОСО) в окрестностях Санкт-Петербурга в период 2009–2015 гг. Сравнивались ансамбли измерений ОСО приборами Добсона и М-124 в пос. Воейково, Фурье-спектрометром (ФС) Bruker 125HR в Петергофе, а также спутниковыми приборами OMI и IASI.

Для оценок погрешностей каждого из этих приборов были сформированы три ансамбля измерений ОСО, содержащие разное число сопоставлений и основанные на различных критериях отбора. На первом этапе исследования мы определили средние и стандартные

отклонения между ансамблями измерений ОСО. Затем, в предположении горизонтально однородного и стационарного поля озона, оценили случайные и систематические погрешности отдельных методов. Средняя по всем трем ансамблям случайная погрешность измерения ОСО прибором IASI составила 2.9 ± 0.5 %, М-124 – 2.8 ± 0.7 %, OMI – 1.2 ± 0.2 %, ФС Bruker – 1.4 ± 0.1 %. Систематическая погрешность относительно «эталонных» измерений ОСО спектрофотометром Добсона для приборов OMI и IASI равна - 1.7 % и - 2.1 %, соответственно; для приборов М-124 и ФС Bruker – + 0.5 % и + 2.1 %, соответственно. Наибольшей стабильностью отличаются измерения ОСО приборами OMI и ФС Bruker; погрешности измерений ОСО приборами IASI и М-124 в значительной степени зависят от состояния атмосферы.

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

Total ozone measured by different instruments over St. Petersburg: the empirical assessment of the measurement errors

Yana A. Virolainen[1] (yana.virolainen@spbu.ru), Yury M. Timofeyev[1],
Anatoly V. Poberovsky[1], Alexander V. Polyakov[1], Arkady M. Shalamyansky[2]
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia*

The knowledge of the errors of measurement methods is very important for the assessment of the quality of experimental data. We compared the results of various measurements of total ozone content (TOC) near St. Petersburg between 2009 and 2015. We considered the TOC datasets of ground-based measurements in Voeykovo (Dobson spectrophotometer and M-124 ozonometer) and in Peterhof (Bruker 125HR spectrometer) as well as satellite measurements of OMI and IASI devices.

With the aim to assess the errors of the each individual method, we formed three datasets of coincident TOC measurements, depending on the number of comparisons and different criteria for selection. First, we calculated the means and the standard deviation from the means for the TOC differences in pairs of coincident datasets. Secondly, under the assumption of a horizontally homogeneous and stationary ozone field during each day of measurements, we assessed the random and systematic errors of the individual methods. The mean random error of the TOC measurements totals 2.9 ± 0.5 %, 2.8 ± 0.7 %, 1.2 ± 0.2 %, and 1.4 ± 0.1 % for IASI, M-124, OMI and Bruker 125HR devices, respectively. The systematic error relative to the standard Dobson measurements amounts to - 1.7 % and - 2.1 % for OMI and IASI, respectively; and is equal to + 0.5 % and + 2.1 % for M-124 and Bruker 125HR, respectively. OMI and Bruker 125HR TOC measurement errors are stable for atmospheric condition changes, whereas errors of IASI and M-124 TOC measurements are highly dependent on the state of atmosphere.

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

Анализ аэрозольных оптических характеристик вблизи Санкт-Петербурга

Волкова К.А.[1] (volkova_ka@list.ru), Тимофеев Ю.М.[1], Поберовский А.В.[1], Холбен Б.Н.[2], Смирнов А.[2], Слуцкер И.[2]

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

[2]*Центр космических полетов им. Годдарда, г. Гринбелт, штат Мэриленд, 20771, США*

С 2013 года в СПбГУ (Петергоф) ведутся непрерывные измерения аэрозольных оптических и микрофизических характеристик с использованием автоматического солнечного фотометра Cimel CE 318, стандартного оборудования глобальной сети аэрозольного мониторинга АЭРОНЕТ. Это устройство, уникальное для Северо-Западного региона Российской Федерации, регистрирует прямое и рассеянное солнечное излучение в 8 каналах видимой и инфракрасной спектральной области. Обработка данных осуществляется в Центре космических полетов имени Годдарда (США).

Был выполнен анализ временного хода восстановленных аэрозольных оптических характеристик, таких как аэрозольная оптическая толща (АОТ) и параметр Ангстрема, для Петергофа и близлежащих к нему станций сети АЭРОНЕТ. Также было проведено сравнение со спутниковыми измерениями (OMI, MODIS).

Analysis of aerosol optical characteristics near Saint-Petersburg

K.A. Volkova[1] (volkova_ka@list.ru), Yu.M. Timofeev[1], A.V. Poberovskii[1], B.N. Holben[2], A. Smirnov[2], I. Slutsker[2]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA*

In SPSU (Peterhof) the continuous measurements of aerosol optical and microphysical characteristics have been performed since 2013 using automatic sun photometer Cimel CE 318, standard sounding instrument of the Aerosol Robotic Network (AERONET), global aerosol monitoring system. The device, unique for the North-West region of Russian Federation, registers direct and scattered solar radiation in 8 wavelengths of visible and infrared spectral range. Aerosol parameters are retrieved using algorithm of NASA Goddard Space Flight Center.

Analysis of temporal dependence of retrieved aerosol optical characteristics such as aerosol optical depth (AOD) and Angstrom exponent for the site Peterghof and nearest AERONET stations and comparison with satellite data (OMI, MODIS) were realized.

Методика атмосферной коррекции данных мультиспектральных спутниковых сенсоров

Силюк О.О. (volha.siliuk@gmail.com), Катковский Л.В., Мартинов А.О.

НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ, ул. Курчатова 7, 220045 Минск, Беларусь

Атмосферная коррекция данных дистанционного зондирования Земли является необходимым этапом при подготовке данных к последующей тематической обработке. Предлагается методика атмосферной коррекции данных мультиспектральных съемочных систем с небольшим количеством каналов (Белорусский космический аппарат, Канопус-В и схожие). Атмосферная коррекция спутниковых данных проводится с учетом аэрозольного ослабления, поглощения основными атмосферными газами (кислород, озон, водяной пар), молекулярного рассеяния. Спектральная плотность энергетической яркости, регистрируемая сенсором спутникового аппарата, содержит следующие основные компоненты: освещенность поверхности Земли, полное пропускание атмосферы на пути от поверхности к спутниковому сенсору, спектральная яркость атмосферной дымки. После аппроксимации

названных компонент составляется система нелинейных уравнений, где число уравнений равно числу мультиспектральных каналов сенсора. Решая полученную систему, определяем неизвестные параметры: аэрозольную оптическую толщину, средний косинус индикатрисы рассеяния, параметр вклада многократного рассеяния в яркость атмосферной дымки, а также искомое альбедо поверхности.

Методика протестирована с использованием расчетов по программе LibRadtran, произведено сравнение результатов атмосферной коррекции по предложенной методике и по модулю FLAASH программы ENVI.

Method of atmospheric correction of multispectral satellite data

V.A. Siliuk (volha.siliuk@gmail.com), L.V. Katkovsky, A.O. Martinov
A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems BSU, 7 Kurchatova str., 220045 Minsk, Belarus

Atmospheric correction of remote sensing data is a necessary step for post-processing of satellite images. Method of atmospheric correction of multispectral data from sensors with a few quantity of spectral bands (Belarusian spacecraft, Kanopus-B and so on) is described. Atmospheric correction of satellite data is carried out taking into account the aerosol extinction, absorption by main atmospheric gases (oxygen, ozone, water vapor), molecular scattering. Radiance measured by satellite sensor contains the following main components: illuminance of the Earth's surface, total transmission of the atmosphere from the surface to the satellite, spectral brightness of the atmospheric haze. After approximation of these components, a system of non-linear equations with number of formulas equal to number of multispectral sensor bands is compounded. Solving the obtained system, the unknown parameters are to be determined: aerosol optical thickness, phase function (average cosine), index of contribution of multiple scattering to the brightness of the atmospheric haze, and albedo of the surface.

The method was tested using LibRadtran calculations. The results of atmospheric correction by this method and by the module FLAASH of the ENVI code were compared.

О Сборнике избранных трудов Т.А. Гермогеновой

Басс Л.П. (bass@kiam.ru), Волощенко А.М., Николаева О.В.
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

В трехтомный сборник избранных трудов Т.А. Гермогеновой вошли работы 1957–2002 годов: статьи, препринты. Работы сгруппированы по следующим темам:

Том 1 – Асимптотические разложения. Спектры (8 работ, 224 стр.)

Том 2 – Численные схемы. Грубосеточные приближения. (17 работ, 249 стр.)

Том 3 – Прикладные задачи. (10 работ, 190 стр.)

Том 1 содержит также три приложения. В Приложении 1 приведен список конференций, в которых участвовала или которые проводила Т.А. Гермогенова, а также названия научных групп, которые она создавала для решения актуальных народно-хозяйственных задач. В Приложении 2 представлен сохранившийся отчет о одной из научных командировок – в Техас, США. Приложение 3 содержит список научных трудов: всего 151 работа. Эти книги размещены на сайте института.

Созданная Т.А. Гермогеновой научная школа (сотрудники, ученики, последователи) успешно продолжает работу по решению задач теории переноса в самых разных приложениях.

Работа поддержана из средств Программы фундаментальных научных исследований ОМН РАН, проект 1.2.2.

Collection of the T.A. Germogenova selected works

L.P. Bass (bass@kiam.ru), A.M. Voloschenko, O.V. Nikolaeva
M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia

The three-volume collection of the T.A. Germogenova's papers contains publications of 1957–2002: articles, preprints. The papers are divided into the next themes:

Volume 1 – Asymptotic expansions. Spectrums (8 publications, 224 pages).

Volume 2 – Numerical schemes. Coarse mesh approximations (17 publications, 249 pages).

Volume 3 – Applied problems (10 publications, 190 pages).

Volume 1 contains also three Appendixes. The list of conferences with T.A. Germogenova's participation and names of scientific teams which she created for solving the actual people-economic problems are given jn Appendix 1. In Appendix 2, the report on scientific mission in Texas, USA is presented. The Appendix 3 contains the list of scientific publications: total 151 works. The books are on the institute site.

The scientific school created by T.A. Germogenova (colleagues, students, followers) successfully continued researches in the field of solving the transport theory problems and in same different applications.

The work was supported from means of Program the fundamental research mathematical department RAS, project 1.2.2.

Задачи переноса поляризованного излучения в плоских слоях оптически активных сред

Кузьмина М.Г., Басс Л.П. (bass@kiam.ru), Николаева О.В.
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

При решении прямых и обратных атмосферных задач приходится сталкиваться с оптически анизотропными средами: кристаллическими ледяными облаками (перистыми и слоисто-перистыми), аэрозольными слоями, а также плотными снежными и ледяными покровами земли. При решении задач переноса в оптически анизотропных средах требуется использовать уравнение переноса с матричным оператором экстинкции и интегральным оператором рассеяния, определяемым матрицей рассеяния не блочно-диагонального вида. Построение адекватных моделей дисперсных анизотропных сред, как обычно, является важной составной частью решения задачи восстановления характеристик рассеивающей среды.

В работе обсуждаются особенности задач переноса излучения в плоских слоях оптически анозотропных сред специального вида – геометрически изотропных оптически активных (киральных) сред. Такие среды образуются ансамблями рассеивающих частиц несферической формы, не обладающих зеркальной симметрией. Для оптически активных сред характерны явления циркулярного двойного преломления, циркулярного дихроизма и вращения плоскости поляризации при распространении излучения в среде. Обсуждаются основные свойства векторного уравнения переноса, описывающего процессы распространения многократно рассеянного излучения в оптически активных средах. Приводятся ранее полученные аналитические результаты и результаты качественного исследования для задач переноса в плоских слоях оптически активных сред, которые могут быть полезны при решении обратных задач переноса и задач спутникового дистанционного зондирования в оптически активных средах. Кратко изложен также метод возмущений, развитый для слабоанизотропных сред, позволяющий заранее получить оценки для возмущения решения, вызванного анизотропией среды.

Работа поддержана из средств Программы фундаментальных научных исследований ОМН РАН, проект 1.2.2.

Polarized radiation transport problems for slabs of optically active media

M.G. Kuzmina, L.P. Bass (bass@kiam.ru), O.V. Nikolaeva
M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia

Disperse optically active media are encountered in the Earth atmosphere remote sensing problems in the cases when scattering medium contains ice crystal clouds (cirrus or laminated cirrus), aerosol layers, and densely packed disperse media formed by snow and ice covers of the terrestrial surface. The vector transport equation with matrix extinction operator and the integral scattering operator defined by non-block-diagonal type of scattering phase matrix should be used for radiative transfer problems in optically anisotropic media. As usual, the design of adequate models of disperse anisotropic media is an important contributing part of the inverse problem on retrieval of disperse medium optical properties and microcharacteristics on the base of analysis of scattered by the medium solar radiation.

In the paper the features of radiative transfer problems in slabs of optically anisotropic media of special type – geometrically isotropic optically active (chiral) media – are discussed. The media can be composed by ensembles of particles of non-spherical shape with broken mirror symmetry. The optically active media are characterized by the phenomena of circular birefringence and circular dichroism, and the polarization plane rotation for radiation propagating in the medium. The properties of the vector transport equation governing multiply scattered radiation transfer in optically active media are discussed. The previously obtained analytical results and the results of qualitative analysis for radiation transport problems in slabs of optically active media, that could be

useful for solving the inverse problems, are presented. A perturbation method developed for weakly anisotropic media is shortly described as well. The method can allow us to estimate beforehand the perturbation of a transport problem solution caused by medium optical anisotropy.

The work was supported from means of Program the fundamental research mathematical department RAS, project 1.2.2.

Решение векторного уравнения переноса излучения в квазидиффузионном приближении

Будак В.П. (BudakVP@mpei.ru)

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Красноказарменная ул. 14, 111250 Москва, Россия

В работе [1] показано, что применение метода синтетических итераций (СИ) к решению уравнения переноса излучения (УПИ) на базе аналитического выделения анизотропной части решения (АЧР) [2] в малоугловой модификации метода сферических гармоник (МСГ) [3] и численного нахождения регулярной части решения (РЧР) в диффузионном приближении существенно увеличивает сходимость метода, практически полностью сохраняя высокую точность алгоритма [2]. Для использования метода СИ важно, чтобы приближенное решение, используемое как начальное, имело бы высокую сходимость в метрике в среднем по энергии, тогда с помощью первой итерации можно добиться существенного увеличения сходимости в равномерной метрике по угловому распределению яркости. Это обстоятельство позволяет выбрать при вычислении РЧР минимальное количество дискретных ординат или сферических гармоник, что значительно ускоряет сходимость метода.

В частности, в [4] было показано, что для нахождения РЧР методом дискретных ординат достаточно только 2 ординат, что эквивалентно двух-потоковому приближению для плоской геометрии. Для обобщения данного подхода на произвольную геометрию среды в [2] предложено использовать метод сферических гармоник в приближении P_1, что эквивалентно диффузионному приближению. В описанном решении важнейшим фактором является метод наилучшего выделения АЧР. В работе [5] проведен сравнительный анализ нахождения известных методов нахождения АПЧ и показано, что метод МСГ для векторного УПИ (ВУПИ), предложенный в [6], развитый в [2, 7] и являющийся развитием МСГ для скалярного УПИ [3], является наилучшим.

В настоящей работе предлагается обобщение квазидиффузионного приближения для решения ВУПИ.

1. Будак В.П., Желтов В.С., Лубенченко А.В. и др. Быстрый и точный алгоритм численного моделирования переноса излучения в мутной среде на основе метода синтетических итераций // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29, № 9. С. 739–746.
2. Budak V.P., Korkin S.V. On the solution of a vectorial radiative transfer equation in an arbitrary three-dimensional turbid medium with anisotropic scattering // Journ. Quant. Spec. Radiat. Trans. 2008. Vol. 109, No 2. P. 220–234.
3. Будак В.П., Сармин С.Э. Решение уравнения переноса излучения методом сферических гармоник в малоугловой модификации // Оптика атмосферы. 1990. Т. 3, № 9. С. 584–591.
4. Budak V.P., Kaloshin G.A., Shagalov O.V., Zheltov V.S. Numerical modeling of the radiative transfer in a turbid medium using the synthetic iteration // Opt. Exp. 2015. Vol.23, No 15. P. A835–A840.
5. Budak V.P., Efremenko D.S., Shagalov O.V. Efficiency of algorithm for solution of vector radiative transfer equation in turbid medium slab // Journal of Physics: Conference Series 369. 2012. 012021.
6. Будак В.П., Астахов И.Е., Лисицин Д.В., Селиванов В.А. Решение векторного уравнения переноса в малоугловой модификации метода сферических гармоник // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7, № 6. С.757–765.
7. Budak V.P., Klyuykov D.A., Korkin S.V. Convergence acceleration of radiative transfer equation solution at strongly anisotropic scattering // In: Light Scattering Reviews 5 / Ed. A.A. Kokhanovsky. Chichester: Springer. 2010. C. 147–204.

Solution of the vector radiative transfer equation in the quasi-diffusion approximation

V.P. Budak (BudakVP@mpei.ru)
National Research University «MPEI», 14 Krasnokazarmennaya str., 111250 Moscow, Russia

It was shown in [1] that the application of the method of synthetic iterations (SI) to the solution of the radiation transfer equation (RTE) on the basis of the analytical elimination of the solution anisotropic part of the (SAP) [2] in the small-angle modification of the spherical harmonics method (MSH) [3] and numerical determination of the solution regular part (SRP) in the diffusion approximation substantially increases the convergence of the method, practically completely preserving the high accuracy of the algorithm [2]. Using the SI method, it is important that the approximate solution used as the initial solution should has a fast convergence in the average metric by energy, then with the help of the first iteration, one can achieve a significant increase in the convergence in the uniform metric for the radiance angular distribution. This circumstance makes it possible to choose the minimum number of discrete ordinates or spherical harmonics in the computation of the SRP, which significantly accelerates the convergence of the method.

It was shown in [4] that only two ordinates are sufficient to find the SRP by the discrete ordinates method, which is equivalent to a two-stream approximation for plane geometry. To generalize this approach to an arbitrary geometry of the medium, it is proposed in [2] to use the method of spherical harmonics in the approximation P_1, which is equivalent to the diffusion approximation. In the described solution, the most important factor is the method of the best elimination of SAP. A comparative analysis of the known methods for determination of APS was made in [5]. It has been shown that the MSH proposed in [6] for the vector RTE (VRTE), developed in [2, 7] and being the development of MSH for scalar RTE [3], is the best.

In this paper, a generalization of the quasi-diffusion approximation for the solution of the VRTE is proposed.

1. Budak V.P., Zheltov V.S., Lubenchenko A.V., et al. A fast and accurate synthetic iteration-based algorithm for numerical simulation of radiative transfer in a turbid medium // Atmospheric and Oceanic Optics. 2017. Vol. 30, No 1. P. 70–78.
2. Budak V.P., Korkin S.V. On the solution of a vectorial radiative transfer equation in an arbitrary three-dimensional turbid medium with anisotropic scattering // Journ. Quant. Spec. Radiat. Trans. 2008. Vol. 109, No 2. P. 220–234.
3. Budak V.P., Sarmin S.E. Solution of the radiation transfer equation by the method of spherical harmonics in the small-angle modification // Atmospheric and Oceanic optics. 1990. Vol. 3, No 9. P. 898–903.
4. Budak V.P., Kaloshin G.A., Shagalov O.V., Zheltov V.S. Numerical modeling of the radiative transfer in a turbid medium using the synthetic iteration // Opt. Exp. 2015. Vol. 23, No 15. P. A835–A840.
5. Budak V.P., Efremenko D.S., Shagalov O.V. Efficiency of algorithm for solution of vector radiative transfer equation in turbid medium slab // Journal of Physics: Conference Series 369. 2012. 012021.
6. Astakhov I.E., Budak V.P., Lisitsin D.V., Selivanov V.A. Solution of the vector radiative transfer equation in the small-angle approximation of the spherical harmonics method // Atmospheric and oceanic optics. 1994. Vol. 7, No 6. P. 398–403.
7. Budak V.P., Klyuykov D.A., Korkin S.V. Convergence acceleration of radiative transfer equation solution at strongly anisotropic scattering. // In: Light Scattering Reviews 5 / Ed. A.A. Kokhanovsky. Chichester: Springer. 2010. C. 147–204.

Влияние оптических свойств рассеивающих неоднородностей на деполяризующую способность мутных сред

Городничев Е.Е. (gorodn@theor.mephi.ru), Кузовлев А.И., Рогозкин Д.Б.
Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Каширское ш. 31, 115409 Москва, Россия

Интерес к исследованиям деполяризации света в сильно рассеивающих средах вызван широким применением поляризационных методов в дистанционном зондировании природных сред (аэрозолей, облаков, биологических тканей) и искусственных структур

(коллоидных и волоконно-подобных систем). Среди наиболее заметных эффектов, наблюдаемых в экспериментах, следует упомянуть различие между скоростями деполяризации линейно и циркулярно поляризованного света. В отличие от линейной поляризации, которая всегда затухает на расстояниях порядка транспортной длины, циркулярная поляризация может сохраняться даже после изотропизации света по направлениям. Такое медленное затухание степени циркулярной поляризации наблюдается при многократном рассеянии света в средах с крупными слабо преломляющими неоднородностями и, как недавно было обнаружено, в средах, состоящих из Ми-резонансных частиц. Различие между скоростями деполяризации циркулярно и линейно поляризованных волн обусловлено «динамическим» и «геометрическими» механизмами деполяризации. «Геометрический» механизм, являющийся причиной затухания линейной поляризации, связан с рытовским вращением плоскости поляризации вдоль траектории распространения луча. «Динамический» механизм возникает из-за различий между амплитудами рассеяния кросс-поляризованных волн.

В работе проанализированы условия, при которых в многократно рассеивающих средах наблюдается эффект медленного затухания циркулярной поляризации. Исследована зависимость отвечающей за деполяризацию циркулярно поляризованного света разности между амплитудами рассеяния от оптических свойств неоднородностей рассеяния. В средах с крупными слабопреломляющими неоднородностями однократное рассеяние происходит преимущественно на малые углы, где амплитуды кросс-поляризованных волн практически совпадают друг с другом. Поэтому деполяризация происходит медленно и становится заметной только на расстояниях, больших, чем транспортная длина. Длина деполяризации увеличивается с размером неоднородности. Для диэлектрических частиц с большим показателем преломления эффект памяти циркулярной поляризации может наблюдаться вблизи резонанса Ми, где выполняется так называемое условие Керкера. Вблизи точки Керкера амплитуды кросс-поляризованных волн приблизительно равны друг другу при всех углах рассеяния. Размерный параметр Ми-частицы в этой точке обратно пропорционален показателю преломления. Длина деполяризации циркулярно поляризованного света увеличивается с ростом показателя преломления.

Длины деполяризации циркулярно и линейно поляризованного света рассчитаны как с помощью решения векторного уравнения переноса, так и в диффузионном приближении. Обнаружено, что в окрестности точки Керкера длина затухания циркулярной поляризации может превышать транспортную длину более чем на порядок.

Impact of optical properties of scattering inhomogeneities on the depolarizing ability of turbid media

E.E. Gorodnichev (gorodn@theor.mephi.ru), A.I. Kuzovlev, D.B. Rogozkin
National Research Nuclear University, 31 Kashirskoe sh., 115409 Moscow, Russia

Interest in studies of depolarization of light in highly scattering media is caused by wide application of polarization techniques to remote sensing of natural media (aerosols, clouds, biological tissues, etc) and artificial structures (colloidal and fiberlike systems). Among the most notable effects observed in experiments, the difference between linearly and circularly polarized light in the rate of depolarization should be mentioned. In contrast to linear polarization that always attenuates over distances of the order of the transport mean free path, circular polarization can persist even after isotropization of the light over directions. Such a slow decrease in the degree of circular polarization is inherent to multiple scattering of light in media with large weakly refracting inhomogeneities and, as has been discovered recently, in media composed of near-resonant Mie particles. The difference in the rate of depolarization between circularly and linearly polarized waves is due to the "dynamical" and "geometrical" mechanisms of depolarization. The "geometrical" mechanism which underlies the decrease of linear polarization results from the Rytov

rotation of the polarization plane along the trajectory of ray propagation. The "dynamical" mechanism arises from the difference between the scattering amplitudes of cross-polarized waves.

We analyze the conditions under which the effect of slow decay of circular polarization is observable in multiple-scattering media. Depolarization of circular polarized light is controlled by the difference between scattering amplitudes that responsible for the "dynamical" mechanism. The dependence of this difference on the optical properties of scattering inhomogeneities is studied. In media with large weakly refractive inhomogeneities, single scattering occurs mainly through small angles where the amplitudes of cross-polarized waves are virtually coincident with each other. Therefore, depolarization occurs slowly and becomes noticeable only at distances greater than the transport mean free path. The depolarization length increases with the inhomogeneity size. For dielectric particles with high refractive index, the effect of circular polarization memory can be observed near the Mie resonance region where the so-called Kerker condition is fulfilled. Near the Kerker point the amplitudes of cross-polarized waves are approximately equal to each other at all scattering angles. The size parameter in this point is inversely proportional to the refractive index. The depolarization length of circularly polarized light increases with the refractive index.

We calculate the depolarization lengths of circularly and linearly polarized light with the vector radiative transfer equation and also within the diffusion approximation. It is found that, in the vicinity of the Kerker point, the depolarization length of circularly polarized waves can exceed the transport mean free path by more than an order of magnitude.

Исследование методом Монте-Карло распространения лазерных импульсов в облаках и водной среде

Пригарин С.М.[1,2] (sergeim.prigarin@gmail.com), Миронова Д.Э.[2], Хохлова Ю.В.[2]

[1]*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия*

[2]*Новосибирский госуниверситет, ул. Пирогова 2, 630090 Новосибирск, Россия*

Данная работа является продолжением публикаций [1–3] и посвящена исследованию зависимости от времени распределения фотонов лазерного импульса при многократном рассеянии в достаточно плотной оптической среде. Методом Монте-Карло рассчитывались концентрация фотонов, рассеянных в пространстве при распространении лазерного импульса, кратность рассеяния, преимущественное направление распространения фотонов и тела яркости. Представлены результаты расчетов для лазерного зондирования атмосферной облачности и водных сред. Эти результаты демонстрируют особенности пространственно-временных распределений фотонов, обусловленные оптическими характеристиками и геометрией рассеивающих сред.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 15-01-00783, 16-01-00145) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 43 по стратегическим направлениям развития науки "Фундаментальные проблемы математического моделирования".

1. Prigarin S.M. and T.V. Aleshina. Monte Carlo simulation of ring-shaped returns for CCD LIDAR systems // Rus. J. Num. Analysis and Math. Modelling. 2015. Vol. 30, No.4. P.251–257.
2. Пригарин С.М. Статистическое моделирование эффектов, связанных с многократным рассеянием импульсов наземных и космических лидаров в облачной атмосфере // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29, № 9. С. 747–751.
3. Prigarin S.M., D.E. Mironova. Stochastic simulation of 3D distributions for laser pulses scattered in optical media // Proc. SPIE 10035. 100351M (November 29, 2016), doi:10.1117/12.2248964.

Monte Carlo study of laser pulse propagation in clouds and water media

Sergei M. Prigarin[1,2] (sergeim.prigarin@gmail.com), Daria E. Mironova[2], Yulia V. Khokhlova[2]

[1]*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6 Lavrentyeva pr., 630090 Novosibirsk, Russia*

[2]*Novosibirsk State University, 2 Pirogova str., 630090 Novosibirsk, Russia*

This paper, being a continuation of the research presented in [1–3], deals with studying the time dependence of the 3D distributions for a laser pulse multiply scattered in a comparatively dense medium. By Monte Carlo method for the scattered photons of a laser beam, we compute the concentration in space, order of scattering, fields of the preferable direction, and angular distributions. We present numerical results for the laser sensing of clouds and water media, which show peculiarities of the 3D distributions of photons in space depending on geometrical and optical properties of the media.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Projects 15-01-00783, 16-01-00145) and the Basic Research Program No.43 of the Presidium of the Russian Academy of Sciences "Fundamental Problems of Mathematical Modeling".

1. Prigarin S.M. and T.V. Aleshina. Monte Carlo simulation of ring-shaped returns for CCD LIDAR systems // Rus. J. Num. Analysis and Math. Modelling. 2015. Vol. 30, No.4. P.251–257.
2. Prigarin S.M. Monte Carlo simulation of the effects caused by multiple scattering of ground-based and spaceborne lidar pulses in clouds // Atmospheric and Oceanic Optics. 2017. Vol. 30, No.1. P. 79–83.
3. Prigarin S.M., D.E. Mironova. Stochastic simulation of 3D distributions for laser pulses scattered in optical media // Proc. SPIE 10035. 100351M (November 29, 2016), doi:10.1117/12.2248964.

Алгоритмы статистического моделирования интенсивности солнечного и теплового излучения в сферической модели атмосферы: детерминированная и стохастическая облачность

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru), Насртдинов И.М.,Чеснокова Т.Ю.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия

Для более корректного решения некоторых задач дистанционного зондирования атмосферы (восстановление характеристик аэрозоля и облаков, «скрининг» облаков, улучшение интерпретации данных наземных и спутниковых наблюдений и т.д.) требуется вычисление пространственных, спектральных и угловых характеристик полей яркости облачной атмосферы с учетом ее пространственной неоднородности. В настоящее время для решения этой проблемы актуальны два основных подхода: моделирование процесса переноса излучения (i) в отдельных реализациях, генерируемых с использованием различных моделей облаков и полученных на основе данных наблюдений и (ii) с учетом стохастической структуры облачных полей.

В работе представлены развитые в ИОА СО РАН статистические алгоритмы расчета интенсивности солнечной и длинноволновой радиации как в детерминированной разорванной облачности, так и усредненной по ансамблю облачных реализаций. Моделирование пространственных, угловых и спектральных характеристик поля яркости выполнялось методом сопряженных блужданий в сферической модели атмосферы. При конструировании облачной реализации использована пуассоновская модель разорванной облачности; облака аппроксимированы опрокинутыми усеченными параболоидами вращения.

Для расчета яркости диффузной *солнечной* радиации в горизонтально- и вертикально неоднородном *детерминированном* облачном поле реализовано несколько модификаций весовых алгоритмов, отличающихся способами учета молекулярного поглощения и моделирования длины свободного пробега [1]. Два способа учета молекулярного поглощения базируются на возможности представления функции пропускания атмосферными газами в виде ряда экспонент (метод *k*-распределений). Моделирование длины свободного пробега

выполняется либо на основе канонических процедур, используемых для аналогового моделирования траекторий фотонов, либо с использованием метода максимального сечения.

В основе алгоритма вычисления интенсивности *длинноволновой радиации* в *конкретной* облачной реализации лежит «рандомизация по частоте». При таком подходе выбранный спектральный интервал разбивается на более узкие подынтервалы с высоким спектральным разрешением (0.005 см$^{-1}$). При моделировании траектории фотона оптические характеристики неоднородной трехмерной среды при переходе от одного подынтервала к другому меняются только за счет вариаций коэффициента молекулярного поглощения.

Моделирование *средней* по множеству реализаций интенсивности в солнечном и тепловом диапазонах спектра выполняется единообразно и основано на численном усреднении стохастического уравнения переноса излучения (УПИ) с использованием рандомизации. На первом шаге алгоритма расчета средней интенсивности строится детерминированное облачное поле. Далее, для каждой из реализаций рассчитывается приближенное значение интенсивности излучения с использованием алгоритмов, развитых для решения УПИ в детерминированной неоднородной облачности в зависимости от интересующего спектрального диапазона. На завершающей стадии выполняется усреднение значений интенсивности излучения по ансамблю реализаций облачных полей. Оптимальное число траекторий и облачных реализаций подбирается в ходе проведения специальных численных экспериментов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 16-01-00617).

1. Zhuravleva T.B. et al. Mathematical simulation of brightness fields in broken clouds for observations from Earth's surface and from space in plane and spherical atmospheric models // Proc. SPIE. 2016. 10035. 1003 02.

Algorithms of statistical simulation of solar and thermal radiation intensity in spherical atmospheric model: deterministic and stochastic cloudiness

T.B. Zhuravleva (ztb@iao.ru), I.M. Nasrtdinov, T.Yu. Chesnokova
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia

For a more correct solution of certain atmospheric remote sensing problems (retrieval of characteristics of aerosol and clouds, cloud «screening», improvement of interpretation of ground-based and satellite observations, etc.), it is required to calculate the spatial, spectral, and angular characteristics of brightness fields of the cloudy atmosphere, taking into account its spatial inhomogeneity. At present, this problem can efficiently be solved using two main approaches: simulation of the radiative transfer process (i) in individual realizations, generated using different cloud models and obtained on the basis of observation data, and (ii) taking into account the stochastic structure of cloud fields.

In this work, we present the statistical algorithms, developed in Institute of Atmospheric Optics, SB RAS to calculate the intensity of solar and longwave radiation both in deterministic broken clouds, and averaged over ensemble of cloud realizations. The spatial, angular, and spectral characteristics of the brightness field were simulated by the method of adjoint walks in the spherical atmospheric model. Poisson model of broken clouds was used to construct cloud realization; clouds are approximated by inverted truncated paraboloids of rotation.

To calculate the intensity of diffuse *solar* radiation in a horizontally and vertically inhomogeneous *deterministic* cloud field, we implemented a few modifications of weighting algorithms, differing in the way of accounting for the molecular absorption and simulating the free path length [1]. Two ways of accounting for the molecular absorption are based on the possibility to represent the atmospheric gas transmission function in the form of exponential series (*k*-distribution method). The free path length is simulated either on the basis of canonic procedures, used for analog simulation of photon trajectories, or by applying the method of maximal cross section.

The algorithm of calculating the intensity of *longwave* radiation in a *specific* cloud realization is based on «randomization with respect to frequency». In this approach, the chosen spectral

interval is divided into narrower subintervals with high spectral resolution (0.005 cm^{-1}). In photon trajectory modeling, the optical characteristics of inhomogeneous three-dimensional medium change only due to variations in coefficient of molecular absorption in passing from one subinterval to another.

The *ensemble-average intensity* is simulated similarly in the solar and thermal spectral ranges, through numerical averaging of stochastic radiative transfer equation (RTE) with the use of randomization. At the first step of the algorithm of calculating the average intensity we construct a deterministic cloud field. Then, for each of the realizations an approximate value of radiation intensity is calculated using algorithms developed to solve RTE in deterministic inhomogeneous clouds, depending on spectral range of interest. At final stage, the radiation intensity values are averaged over the ensemble of cloud field realizations. Optimal numbers of trajectories and cloud realizations are selected in the course of special numerical experiments.

This work was supported in part by the Russian Fund for Basic Research (through the grant no. 16-01-00617).

1. Zhuravleva T.B. et al. Mathematical simulation of brightness fields in broken clouds for observations from Earth's surface and from space in plane and spherical atmospheric models // Proc. SPIE. 2016. 10035. 1003 02.

Эффективность ветвящихся методов Монте-Карло при решении нестационарных задач теории переноса излучения

Прохоров И.В. (prokhorov@iam.dvo.ru), Ким А., Ковтанюк А.Е.
Институт прикладной математики ДВО РАН, ул. Радио 7, 690041 Владивосток, Россия
Дальневосточный федеральный университет, ул. Суханова 8, 690950 Владивосток, Россия

В настоящее время существует большое разнообразие численных методов для решения уравнений переноса излучения. Тем не менее, в общем многомерном случае и, в особенности при решении реальных задач в неоднородных средах, методам Монте-Карло альтернативы практически нет. В данной работе рассматриваются вопросы применения статистических методов к решению задачи Коши для нестационарного уравнения переноса излучения с френелевскими условиями сопряжения на границе раздела сред. Решение основывается на сведении начально-краевой задачи к интегральному уравнению и представлению решения в виде ряда Неймана с рандомизацией вычисления каждого члена ряда.

Известно, что одним из способов уменьшения дисперсии статистических оценок является использование ветвящихся траекторий. Как правило, моделирование ветвящихся траекторий характерно для решения задач в размножающих средах и мотивированно как возможностью обоснования сходимости алгоритма, так и его интуитивно понятной физической интерпретацией [1]. Отметим, что использование ветвления для получения эффективных модификаций метода Монте-Карло имеет более широкие условия применимости. Например, в рассматриваемом нами случае для нерассеивающих сред с френелевским отражением и преломлением на границе раздела сред, использование ветвящихся траекторий позволяет получить точное решение, за исключением ошибки усечения ряда Неймана. При наличии объемного рассеяния в среде ветвящийся метод дает меньшую дисперсию, но обладает существенным недостатком – экспоненциальная зависимость сложности алгоритма от количества членов ряда Неймана [2]. Кроме того, использование фиксированного количества ветвлений в каждом узле порождает множество траекторий, вносящих ничтожный вклад в итоговую оценку. Таким образом, вопрос получения эффективного алгоритма сводится к разработке стратегий ветвления, приводящих к получению наиболее точной оценки, с наименьшим количеством узлов в ветвящихся траекториях. В качестве основного критерия «важности» ветвления в узле мы использовали величину равную сумме попарных произведений вероятностей рассеяния, преломления и отражения, помноженных на вес пакета, дошедшего в эту точку.

Проведено сравнительное тестирование построенного алгоритма со стандартным методом Монте-Карло без ветвления и алгоритмом, использующим фиксированное количество ветвлений. На серии численных экспериментов с различными характеристиками показано, что предложенный метод обладает наименьшей трудоемкостью и может эффективно использоваться в задачах расчета радиационных полей в неоднородных средах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-11-00079).

1. Медведев И.Н., Г.А. Михайлов. Исследование весовых алгоритмов метода Монте-Карло с ветвлением // Ж. вычисл. матем. и матем. физики. 2009. Т. 49, № 3. С. 441–452.
2. Kim A., I.V. Prokhorov. Monte Carlo method for non-stationary radiative transfer equation in inhomogeneous media // Proc. SPIE. 2016. Vol. 10035. 100350Z.

Effectiveness of the branching Monte Carlo methods for solving nonstationary problems of the Radiative Transfer Theory

I.V. Prokhorov (prokhorov@iam.dvo.ru), A. Kim, A.E. Kovtanyuk
Institute of Applied Mathematics FEB RAS, 7 Radio str., 690041 Vladivostok, Russia
Far Eastern Federal University, 8 Sukhanova str., 690950 Vladivostok, Russia

At present, there are a lot of numerical methods for solving the radiation transfer equations. However, in the general multidimensional case, and especially in case of real problem with inhomogeneous media, there are no alternatives to the Monte Carlo methods. In this paper we consider the application of the statistical methods for the solution of the Cauchy problem for the nonstationary radiation transfer equation with the Fresnel matching conditions at the media interface. The solution is based on reducing the initial-boundary value problem to the integral equation and representing its solution as the Neumann series with randomization of the calculation of each term of the series.

One of the well-known ways to reduce the variance of statistical estimates is the using of branching chains. As a rule, the modeling of branching chains is typical for solving problems with propagating environment. It's motivated both by the possibility of justifying the convergence of the algorithm, and by its intuitively understandable physical interpretation [1]. Nevertheless, we can use branching to obtain the effective method in broader conditions of applicability. For example, in the case of non-scattering media with Fresnel reflection and refraction at the media interface, the using of branching trajectories makes possible to obtain an exact solution, except of the error of the Neumann series truncation. In case of medium with scattering, the branching method yields a smaller variance, but has a significant drawback – the exponential dependence of the algorithm complexity on the number of Neumann series terms [2]. In addition, the using of a fixed number of branches for each node generates a multitude of trajectories, which make an insignificant contribution to the final estimation. Thus, the problem of construction an effective algorithm is reduced to the development of branching strategies, with the most accurate estimate and the least number of nodes in all trajectories. As the main criterion for the "importance" of branching at the point, we used the sum of the pairwise products of the scattering, refraction, and reflection probabilities multiplied by the packet weight that reached the point.

Comparative testing of the constructed algorithm with a standard Monte Carlo method without branching and with an algorithm with a fixed number of branches is carried out. The numerical experiments have shown that our method has the least laboriousness and can be used for problems of radiation fields calculating in a inhomogeneous media.

This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 14-11-00079).

1. Medvedev I.N., G.A. Mikhailov. Study of weighted Monte Carlo algorithms with branching // Comp. Mathematics and Mathematical Physics. 2009. Vol. 49, No 3. P. 428–438.
2. Kim A., I.V. Prokhorov. Monte Carlo method for non-stationary radiative transfer equation in inhomogeneous media // Proc. SPIE. 2016. Vol. 10035. 100350Z.

Определение коэффициента рассеяния для нестационарного уравнения переноса излучения

Сущенко А.А. (sushchenko.aa@dvfu.ru), Кан В.А., Коваленко Е.О.
Институт прикладной математики ДВО РАН, ул. Радио 7, 690041 Владивосток, Россия
Дальневосточный федеральный университет, ул. Суханова 8, 690950 Владивосток, Россия

Существует значительное число факторов, ослабляющих излучение при прохождении через атмосферу. Одним из них является многократное рассеяние света [1]. На сегодняшний день существует целый ряд работ, посвященных исследованию распространения излучения в случайно-неоднородной среде [2–3]. Интерес представляет задача нахождения коэффициента объемного рассеяния на основе принятого сигнала.

В работе рассматривается модель переноса излучения, описываемая нестационарным уравнением переноса [4] в неограниченной области с соответствующими условиями затухания сигнала на бесконечности. Начальные условия описывают отсутствие каких-либо возмущений в начальный момент времени. Точечный источник излучения предполагается изотропным импульсного типа. Приемник, местоположение которого совпадает с источником, детектирует сигналы, приходящие с любого направления в каждый момент времени. В рамках этой модели рассматривается обратная задача, заключающаяся в нахождении коэффициента рассеяния.

Обратная задача рассматривалась в приближении однократного и двукратного рассеяния. В приближении однократного рассеяния получено явное решение обратной задачи. Дан численный анализ адекватности решения в приближении однократного рассеяния. При проведении численного эксперимента сигнал рассчитывался с учетом многократного рассеяния. Затем решалась обратная задача для определения коэффициента объемного рассеяния по явной формуле. Основной задачей эксперимента ставилось определение влияния многократного рассеяния на распространяемый сигнал. Для решения задачи численного интегрирования применялся метод Монте-Карло. Из результатов численных экспериментов следует, что влияние многократного рассеяния растет с увеличением дальности зондирования ввиду увеличения объема освещенной области, заполненной рассеивающим веществом.

1. Жуков Г.В. Влияние поглощения света в земной атмосфере на фотометрические наблюдения звезд. Казань: Изд-во КФУ. 2010. 17 с.
2. Прохоров И.В., Сущенко А.А. О корректности задачи Коши для уравнения переноса излучения с френелевскими условиями сопряжения // Сиб. мат. журнал. 2015. Т. 56. № 4. С. 736–745.
3. Kovalenko E.O., Sushchenko A.A., Prokhorov I.V. Processing of the information from side-scan sonar // Proc. SPIE. 2016. Vol. 10035. 100352C.
4. Прохоров И.В., Сущенко А.А. Исследование задачи акустического зондирования морского дна методами теории переноса излучения // Акуст. журнал. 2015. Т. 61, № 3. С. 400–408.

Determination of the scattering coefficient based on the evolution radiative transfer equation

A.A. Sushchenko (sushchenko.aa@dvfu.ru), V.A. Kan, E.O. Kovalenko
Institute of Applied Mathematics FEB RAS, 7 Radio str., 690041 Vladivostok, Russia
Far Eastern Federal University, 8 Sukhanova str., 690950 Vladivostok, Russia

There are so many different factors which weaken radiation in the atmosphere. One of them is light multi-scattering. Nowadays there are papers, focused to the research of radiation propagation in the randomly inhomogeneous media[1–2]. The problem of determination of volume scattering, based on the received signal, is very relevant.

In this paper authors study the model of the radiative transfer which described by the evolution transfer equation [2] in the unbounded area with corresponding attenuation conditions on the infinity. The initial condition describes absence of any perturbations in the initial time. The point view source is assumed as isotropic and impulse. Receiver detects signal in any direction in

each time. Using this model the inverse problem is formulated. It consists in the determination of the scattering coefficient.

The inverse problem is studied in the single-scattering and double-scattering approximations. In the single-scattering approximation the explicit solution of the inverse problem is deduced. The numerical analysis of the solution adequacy in the single scattering approximation is done. The signal is computed including by multiscattering effect. After all the inverse problem is solved using by explicit formula. The main idea of the experiment is determination of the influence of multiscattering effect on the propagated signal. The problem of numerical integration is solved by Monte-Carlo method. The influence of the multiscattering effect grows with increasing of remote sensing range due to increasing of the illuminated area.

1. Kovalenko E.O., Sushchenko A.A., Prokhorov I.V. Processing of the information from side-scan sonar // Proc. SPIE. 2016. Vol. 10035. 100352C.
2. Prokhorov I.V., Sushchenko A.A. Study of the problem of acoustic sounding the seabed by methods of transfer radiation theory // Acoustic Journ. 2015. Vol. 61, No 3. C. 400–408 (in Russian).

New RT code SORD

Sergey Korkin[1,2] (korkins@gmail.com), Alexei Lyapustin[2], Alexander Sinyuk[2,3], Brent Holben[2],and Alexander Kokhanovsky[4,5]

[1]*Universities Space Research Association (USRA) Goddard Earth Sciences Technology and Research (GESTAR), 7178 Columbia Gateway Drive, 21046 Columbia, MD, USA*

[2]*NASA Goddard Space Flight Center (GSFC), 8800 Greenbelt Rd., 20771 Greenbelt, MD, USA*

[3]*Science Systems and Applications (SSAI) Inc., 10210 Greenbelt Rd # 600, 20706 Lanham, MD, USA*

[4]*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), Eumetsat Allee 1, D-64295 Darmstadt, Germany*

[5]*Moscow Engineering Physics Institute (MEPhI), National Research Nuclear University, Kashirskoe Str. 31, 115 409 Moscow, Russia*

The talk discusses a new vector (polarized) radiative transfer (vRT) code SORD. We created the code for the NASA Goddard Space Flight Center AERONET (AErosol Robotic NETwork) team. The AERONET team plans to use SORD in the version 3 data reprocessing to account for the influence of polarization on the total intensity of light.

SORD numerically simulates propagation of monochromatic solar radiation in a plane-parallel atmosphere with arbitrary number of optical layers over a reflecting surface (land or ocean) using the method of successive orders (SO) of scattering (hence the name). The talk will discuss the efficiency (accuracy and runtime – the latter is rarely indicated) of the code in 52 benchmarks, mostly published, including the recent IPRT benchmarks [1]. Noteworthy, none of the existing SO codes [2, 3, 4, 5, etc.] has participated in the above mentioned vRT codes intercomparison. We will discuss capabilities of the code and what is yet to be added. For natural integration with the AERONET retrieval algorithm, we created SORD in Fortran 90/95. For the further improvements, we distribute SORD as an open source (ftp://maiac.gsfc.nasa.gov/pub/skorkin). Recently we submitted a paper for possible publication in the Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer (JQSRT). Amid other topics, the paper discusses how to reproduce all the 52 tests on the user's machine, which is essential for the quality assurance.

The development of SORD and the participation in ISARD-2017 is supported by the NASA ROSES-14 program "Remote Sensing Theory for Earth Science" managed by Dr. Lucia Tsaoussi, grant number NNX15AQ23G, PI – Dr. Sergey Korkin.

1. Emde, C., Barlakas, V., Cornet, et al. IPRT polarized radiative transfer model intercomparison project – Phase A // J. Quant. Spect. Rad. Trans. 2015. Vol. 164. P. 8–36.
2. Zhai, P.-W., Hu, Y., Trepte, C.R., and Lucker, P.L. A vector radiative transfer model for coupled atmosphere and ocean systems based on successive order of scattering // Opt. Exp. 2009. Vol. 17, No. 4. P. 2057–2079.
3. Ming, Q. and Duan, M. A successive order of scattering model for solving vector radiative transfer in the atmosphere // J. Quant. Spect. Rad. Trans. 2004. Vol. 87. P. 243–259.
4. Lenoble, J., Herman, M., Deuze, J L., et al. 2007: A successive order of scattering code for solving the vector equation of transfer in the earth's atmosphere with aerosols // J. Quant. Spect. Rad. Trans. 2007. Vol. 107. P. 479–507.

5. Kotchenova, S.Y, Vermote, E.F., Matarrese, R., and Klemm, F.J. Jr. Validation of a vector version of the 6S radiative transfer code for atmospheric correction of satellite data. Part I: path radiance // Appl. Opt. 2006. Vol. 45, No 26. P. 6762–6774.

Новый алгоритм атмосферной коррекции многоспектральных данных

Николаева О.В. (nika@kiam.ru)
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

По данным зондирования земли из космоса определяются значения коэффициента яркости света, отраженного системой атмосфера-подстилающая поверхность. Эти величины можно рассматривать как значения альбедо земной поверхности, искаженные при рассеянии и поглощении света в атмосфере. Задача атмосферной коррекции состоит в исключении из коэффициента яркости этих искажений. Используемые в настоящий момент алгоритмы атмосферной коррекции предполагают задание априорной информации либо о составе атмосферы (аэрозоли, содержание поглощающих газов), либо о земной поверхности (характерные спектры составляющих ее материалов). Большие неопределенности априорных данных затрудняют применение этих алгоритмов.

В докладе представлен новый алгоритм атмосферной коррекции влияния газового поглощения в коэффициенте яркости. Алгоритм не требует априорной информации о составе атмосферы и поверхности, но применим только к многоспектральным данным.

New algorithm for atmospheric correction of multispectral data

O.V. Nikolaeva (nika@kiam.ru)
Keldysh Institute of Applied Mathmatics, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia

Remote sensing permits to define reflectance of the atmosphere–surface system. Reflectance can be considered as surface albedo distorted via scattering and absorbing light in the atmosphere. Atmospheric correction methods permit to eliminate distortions. Now used atmospheric correction methods rely on apriori information about atmosphere composition or surface. In the latter case specific spectra of constituents are prescribed. Great uncertainty of apriori information makes difficult these methods using.

The new algorithm for atmospheric correction of gas absorption distortion of reflectance is presented. The algorithm demands apriori information about neither atmosphere composition nor surface, but is appropriable only to multispectral data.

Алгоритм сжатия многоспектральных данных спутникового зондирования

Чебыкин А.Г. (agchebykin@gmail.com), Басс Л.П., Николаева О.В., Русков А.А.
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

При дистанционном зондировании атмосферы и земной поверхности регистрируются многоспектральные изображения – трехмерные массивы данных, в которых два измерения соответствуют пространственным координатам, а третье измерение представляет собой номер спектрального канала. Такие трехмерные массивы данных называют гиперкубами. Объем регистрируемых данных оказывается очень большим, и передача данных по каналу связи спутник–Земля требует значительного времени и приводит к высокой нагрузке на аппаратуру. Поэтому актуальной является задача минимизации объема передачи данных. Такая минимизация возможна, поскольку при большом количестве спектральных каналов соседние каналы обычно обладают значительной взаимной корреляцией. Важным является вопрос о временных затратах на сжатие и об ошибке, вносимой при этом в данные.

В докладе представлен алгоритм сжатия многоспектральных данных, позволяющий уменьшать объем передаваемых данных при заданной погрешности восстановления. Приведены результаты тестирования алгоритма на данных спектрометра типа Maya.

Работа поддержана из средств Программы фундаментальных научных исследований ОМН РАН, проект 1.2.2.

Algorithm for compressing multispectral satellite sensing data

A.G. Chebykin (agchebykin@gmail.com), L.P. Bass, O.V. Nikolaeva, A.A. Russkov
M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia

During remote sensing of the atmosphere and the earth's surface, multispectral images are recorded. They are three-dimensional data sets in which two dimensions correspond to spatial coordinates, and the third one is the number of the spectral channel. Such three-dimensional data sets are called hypercubes. The volume of the recorded data is very large, and the transmission of data through the satellite-to-Earth communication channel requires considerable time and results in a high load on the equipment. Therefore, the problem of minimizing the amount of data transmission is actual. This minimization is possible, since with a large number of spectral channels, adjacent channels usually have significant cross-correlation. An important issue is the time spent on compression and the error that is introduced in the data.

The report presents an algorithm for compressing multispectral data, which makes it possible to reduce the amount of transmitted data for a given recovery error. Results of testing the algorithm on data of a spectrometer of the Maya type are presented.

The work was supported from means of Program the fundamental research mathematical department RAS, project 1.2.2.

Массовые вымирания видов и предшествующие им атмосферные явления: объяснение прошлого и предсказание будущего в контексте ФФО-ХФО Теории Образования и Трансформации Солнечной Системы (PFO-CFO Theory of Solar System Formation and Transformation)

Кадышевич Е.А.[1] (kadyshevich@mail.ru), Островский В.Е.[2] (vostrov@cc.nifhi.ac.ru)
[1]*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия*
[2]*Физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, Воронцово поле 10, 105064 Москва, Россия*

Анализ палеонтологических данных [1] о периодах массовых вымираний живой материи в контексте ФФО-ХФО Теории Образования и Трансформации Солнечной Системы, представленной на МСАРД-2015 [2], приводит к выводу об обусловленности экстенсивных быстрых вымираний определенными событиями на Солнце. Основы теории заложены в [3, 4] и развиты в [5–8]. Теория опирается на вывод Специальной Теории Относительности о двуединстве массы и энергии, на экспериментальное подтверждение этого вывода и на представление о бесконечном и вечном Пространстве массы/энергии как источнике конечной Вселенной, существующей в Пространстве и обменивающейся с ним массой и энергией.

Впервые представлены метод и результаты расчета периодов в прошлом и будущем истории Земли, для которых, согласно ФФО-ХФО теории, следует ожидать экстенсивных быстрых массовых вымираний; каждому вымиранию предшествуют определенные атмосферные и климатические явления. Расчеты, выполненные на основе теории, выявили девять таких периодов. Эти периоды соответствуют периодам вымирания, выявленным палеонтологами, в каждом из которых погибло 30–60 % имевшихся на Земле видов. Применение теории и методики расчета к будущим событиям позволило предсказать период ближайшего вымирания и предшествующие сигнальные атмосферные явления.

ФФО-ХФО теория приводит к новым представлениям о природе солнечного вещества и его трансформации во времени. Выводы теории в графической и логической форме

обсуждаются совместно с современными данными о составе и свойствах околосолнечного пространства и радиационной зоны Солнца, Фраунгоферовых спектрах, солнечном ветре, характере влияния солнечных процессов на атмосферу Земли, связи событий на Солнце с температурой на поверхности Земли и развитием живой материи. Объяснено явление выброса в 2014 году небольшим красным карликом DG CVn серии крупнейших протуберанцев [9], первый из которых был в 10000 раз мощнее мощнейшего солнечного протуберанца. Согласно ФФО-ХФО теории, именно подобные серии протуберанцев приводили к вымираниям живой материи на Земле.

1. Rohde R.A., R.A. Muller. Cycles in fossil diversity // Nature. 2005. Vol. 434. P. 209.
2. Кадышевич Е.А., В.Е. Островский. ФФО–ХФО Гипотеза образования Солнечной Системы: изменения во времени солнечной радиации, давления кислорода и разнообразия видов живой материи. Тезисы МСАРД-2015 (ISARD-2015), С.Петербург-Петродворец. С. 32.
3. Островский В.Е., Е.А. Кадышевич. Физико-химическая модель возникновения планет Солнечной Системы: причины различия химического состава планет. В книге: Физхимия-2010. Обнинск: Росинтал. 2011. С. 46.
4. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. Development of the PFO-CFO hypothesis of Solar System formation: Why do the celestial objects have different isotopic ratios for some chemical elements? // Adv. Plasma Astrophys. 2011. Vol. 6. P. 95.
5. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO-CFO hypothesis of Solar System formation: the notion of the Sun-like stars and their transformations // EPSC Proc. 2013. Vol. 8. P. 145.
6. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. PFO-CFO Hypothesis of Solar System Formation: the presolar star as the only source of chemical elements for the Solar System // EPSC Proc. 2013. Vol. 8. P. 38.
7. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO-CFO Hypothesis of Solar System formation: its actuality and physical and chemical grounds // EPSC Proc. 2014. Vol. 9. P. 653.
8. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO-CFO Hypothesis of Solar System formation: Solar System formation and past and future evolution // EPSC Proc. 2015. Vol. 10. P. 20.
9. NASA's Swift Mission Observes Mega Flares from a Mini Star. https://www.nasa.gov/content/goddard/nasas-swift-mission-observes-mega-flares-from-a-mini-star

Species mass extinctions and forerunning atmospheric phenomena: explanation of the past and prediction of the future in the context of the PFO-CFO Theory of Solar System Formation and Transformation

E.A. Kadyshevich[1] (kadyshevich@mail.ru), V.E. Ostrovskii[2] (vostrov@cc.nifhi.ac.ru)

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

[2]*L.Ya. Karpov Institute of Physical Chemistry, 10 Vorontsovo Pole, 105064 Moscow, Russia*

An analysis of paleontological data [1] on living-matter mass extinctions performed in the PFO-CFO Theory context leads to the conclusion that the extensive rapid extinctions are caused by solar events. This theory was presented at ISARD-2015 [2]; its beginnings are formulated in [3, 4] and developed in [5–8], and it bears upon the Special Relativity conclusion of mass/energy di-unity and its experimental confirmations and upon the notion of infinite and eternal mass/energy Space as the source of finite Universe existing within Space and exchanging mass and energy with it.

The calculation procedures and identification of the past and future Earth’s periods, for which the PFO-CFO theory forecasts extensive rapid extinctions, are originally presented; definite atmospheric events and climatic variations forerun to each mass extinction. Calculations based on our theory revealed nine such periods. Each period corresponds to a paleontologically-revealed actual extinction, which led to the 30–60 % species elimination. Application of the theory and calculation procedure to coming events allowed forecasting the next extinction and signaling atmospheric phenomena.

The PFO-CFO theory leads to new notions of the solar substance nature and temporal transformations. The conclusions from the theory are discussed in the graphical and logical connections with available data on the composition and characteristics of circumsolar space and solar radiation zone, Fraunhofer spectra, solar wind, and solar effects on the Earth’s atmosphere, surface temperature, and living-matter development. Our theory explains the recent ejection by a small red dwarf DG CVn of a series of extremely powerful protuberances, the first of which was

10000 times more powerful than any solar protuberance ever recorded [9]; just similar series of protuberances led to the Earth's living-matter extinctions.

1. Rohde R.A., R.A. Muller. Cycles in fossil diversity // Nature 2005. Vol. 434. P. 209.
2. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. PFO-CFO hypothesis of Solar System formation: temporal variations in the solar radiation, oxygen pressure, and living-matter species diversity // ISARD-2015 Abstracts. Saint-Petersburg-Petrodvorets. C. 32.
3. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. Physicochemical model of formation of the solar system planets: the causes of differences in the chemical composition of planets. In: Physchemistry-2010. Obninsk: Rosintal. 2011. P.46. (in Russian)
4. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. Development of the PFO-CFO hypothesis of Solar System formation: Why do the celestial objects have different isotopic ratios for some chemical elements? // Adv. Plasma Astrophys. 2011. Vol. 6. P. 95.
5. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO-CFO hypothesis of Solar System formation: the notion of the Sun-like stars and their transformations // EPSC Proc. 2013. Vol. 8. P. 145.
6. Kadyshevich E.A., V.E. Ostrovskii. PFO-CFO Hypothesis of Solar System Formation: the presolar star as the only source of chemical elements for the Solar System // EPSC Proc. 2013. Vol. 8. P. 38.
7. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO-CFO Hypothesis of Solar System formation: its actuality and physical and chemical grounds // EPSC Proc. 2014. Vol. 9. P. 653.
8. Ostrovskii V.E., E.A. Kadyshevich. PFO-CFO Hypothesis of Solar System formation: Solar System formation and past and future evolution // EPSC Proc. 2015. Vol. 10. P. 20.
9. NASA's Swift Mission Observes Mega Flares from a Mini Star. https://www.nasa.gov/content/goddard/nasas-swift-mission-observes-mega-flares-from-a-mini-star

Эталонные расчеты собственного излучения атмосферы при наличии облачных слоев

Федотова Е.А. (godograf87@mail.ru), Мингалев И.В, Орлов К.Г.

Полярный геофизический институт РАН, Академгородок 26а, 184209 Апатиты Мурм. обл., Россия

В данной работе изложены результаты эталонных расчетов потоков собственного излучения в атмосфере Земли на средних широтах в диапазоне 10–2000 см$^{-1}$ при наличии облачных слоев нижнего, среднего и верхнего ярусов, обладающих большой оптической толщиной. В расчетах разрешение по частоте составляло 0.001 см$^{-1}$, а по высоте – 200 м. Цель работы заключалась в определении границ изменения скорости нагрева атмосферы собственным излучением при наличии облачных слоев, а также в изучении влияния этих слоев на поле собственного излучения атмосферы.

Проведенные расчеты показали, что облачные слои большой оптической толщины существенно влияют на поле собственного излучения атмосферы в интервале частот от 10 до 2000 см$^{-1}$. Ниже облачных слоев восходящий и нисходящий потоки излучения увеличиваются по сравнению с этими потоками в безоблачной атмосфере. Нисходящий поток собственного излучения атмосферы выше облачного слоя несущественно отличается от потока, рассчитанного для безоблачной атмосферы. Восходящий поток собственного излучения атмосферы выше облачного слоя существенно меньше, чем этот поток, рассчитанный при отсутствии облачного слоя. Чем выше расположен облачный слой, тем сильней он уменьшает восходящий поток собственного излучения атмосферы на ее верхней границе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-01-00100.

Line-by-line calculation of the intrinsic radiation of the atmosphere in presense of cloud layers

E.A. Fedotova (godograf87@mail.ru), I.V. Mingalev, K.G. Orlov

Polar Geophysical Institute RAS, Akademgorodok 26a, 184209 Apatite, Russia

This paper presents results of the line-by-line calculations of the intrinsic radiation in the Earth's atmosphere at mid-latitudes in the frequency range of 10–2000 cm^{-1} in the presence of low,

medium and high clouds, having a large optical thickness. Frequency resolution is 0.001 cm^{-1}, and altitude resolution is 200 m. The aims of this work are to determine the boundaries of the atmosphere heating rate by the intrinsic radiation in the presence of cloud layers, as well as to study of the effect of these layers on intrinsic radiation field of the atmosphere.

The calculations have shown that the cloud layers of large optical thickness substantially affect the atmospheric radiation field in the frequency range from 10 to 2000 cm^{-1}. Below cloud layers, the ascending and descending radiation fluxes increase in comparison with these fluxes in the cloudless atmosphere. Downwelling atmospheric radiation above the cloud layer is not significantly different from the flux, calculated for a cloudless atmosphere. Upwelling atmospheric radiation above the cloud layer is much smaller than the flux calculated in the absence of the cloud layer. The cloud layer is higher, the stronger it reduces the upwelling atmospheric radiation on its upper bound.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 17-01-00100).

Набор параметризаций оптических характеристик атмосферы Земли в ИК-диапазоне

Орлов К.Г. (orlov@pgia.ru), Федотова Е.А. (godograf87@mail.ru), Мингалев И.В.
Полярный геофизический институт РАН, Академгородок 26а, 184209 Апатиты Мурм. обл., Россия

В данной работе представлено семейство параметризаций оптических характеристик атмосферы в частотном диапазоне 10–2000 $см^{-1}$. Представлены результаты расчетов поля собственного излучения атмосферы Земли в указанном частотном диапазоне, проведенных с использованием представленных параметризаций. Эти результаты сравниваются с результатами эталонных расчетов. Эталонные расчеты выполнены с разрешением по частоте излучения 0.001 $см^{-1}$. При расчетах использовалось приближение горизонтальной однородной атмосферы и учитывалось молекулярное и аэрозольное рассеяние. Для численного решения 1-мерного по пространству уравнения переноса излучения использовался метод дискретных ординат. В расчетах использовались равномерная сетка по высоте с шагом 200 метров и равномерная сетка по зенитным углам с шагом около 9 градусов. Коэффициенты молекулярного поглощения рассчитывались с использованием спектроскопической базы данных HITRAN 2012.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-01-00100.

A set of parameterizations of optical properties in the IR-range for the Earth's atmosphere

K.G. Orlov (orlov@pgia.ru), E.A. Fedotova (godograf87@mail.ru), I.V. Mingalev
Polar Geophysical Institute RAS, 26a Akademgorodok, 184209 Apatite, Russia

This paper presents a family of parameterizations of optical properties of the Earth's atmosphere in the frequency range of 10–2000 cm^{-1}. The results of calculations of fields of the intrinsic radiation of the Earth's atmosphere in the frequency range carried out with the use of represented parameterizations are given. These results are compared with the results of the reference calculations. Reference calculations are performed with a frequency resolution of 0.001 cm^{-1}. When calculating the approach of horizontal uniform atmosphere was used and molecular and aerosol scattering was considered. For the numerical solution of the radiative transfer equation (1-dimensional on space), the method of discrete ordinates was used. In calculations the uniform grid on height with a step of 200 meters and a uniform grid on Zenith angles with a step about 9 degrees were used. The molecular absorption coefficients were calculated using the HITRAN spectroscopic database 2012.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects no. No. 17-01-00100).

Моделирование потоков солнечного излучения, измерямых наземными фотометрами, с различными данными по сечениям поглощения озона и диоксида азота в УФ диапазоне

Чеснокова Т.Ю.[1] (ches@iao.ru), Воронина Ю.В.[1], Фирсов К.М.[2] (fkm.volsu@mail.ru), Ченцов А.В.[1], Размолов А.А.[2]

[1]*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия*

[2]*Волгоградский государственный университет, Университетский пр. 100, 400062 Волгоград, Россия*

Озон является основным поглощающим газом в УФ диапазоне, а также важным парниковым и химически активным газом. Меньший вклад в поглощение в УФ диапазоне вносят NO_2, SO_2 и другие газы. Мониторинг содержания газов осуществляется с помощью как наземных, так и спутниковых методов. Для определения содержания озона по данным измерений различных приборов необходимо знать сечения поглощения O_3 в УФ области спектра с высокой точностью (не менее 1 % [1]).

В данной работе рассмотрены самые используемые в атмосферных расчетах данные по сечениям поглощения озона Bass, Daumont, Molina, а также новые данные Serdyuchenko. Вычислено атмосферное пропускание с различными сечениями поглощения озона на вертикальной трассе через всю атмосферу для метеомоделей лета г. Томска [2] и Волгограда [http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/]. Различие в пропусканиях, вычисленных с данными Serdyuchenko и Bass, достигают 12 % в диапазоне около 305 нм, который часто используется для определения содержания озона в атмосфере, что может привести к большим неопределенностям.

Чтобы оценить влияние новых данных по сечениям поглощения озона Serdyuchenko на моделирование потоков УФ излучения, измеряемых солнечными фотометрами, были проведены расчеты с фильтрами фотометров, установленных в Волгограде и Томске для летних метеоусловий. Уравнение переноса солнечного излучения в атмосфере решалось с помощью метода дискретных ординат DISORT [3]. Входными данными для вычисления потоков излучения являются высотные профили оптической толщи газового поглощения и аэрозоля, альбедо однократного рассеяния аэрозоля, коэффициенты молекулярного (релеевского) рассеяния и поглощения, индикатрисы рассеяния аэрозоля, альбедо подстилающей поверхности. При расчете потоков использовались данные по сечениям поглощения озона Serdyuchenko, Bass, Daumont, Molina и данные по сечениям поглощения NO_2 JPL-2015, Bogumil, Voight. Использование новых данных по сечениям поглощения озона Serdyuchenko вместо данных Bass приводит к изменению в суммарном нисходящем потоке у поверхности Земли около 1 %, применение данных Molina дает различие в суммарном нисходящем потоке относительно данных Bass до 1.8 %, что может привести к погрешности определения озона более 4 %. Различие в данных по сечениям поглощения NO_2 оказывает меньшее влияние на расчеты потоков УФ излучения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, администрации Волгоградской области в рамках научного проекта №16-45-340152 р_а.

1. Orphal J., Staehelin J., Tamminen J., et.al. Absorption cross-sections of ozone in the ultraviolet and visible spectral regions: Status report 2015 // J. of Molecular Spectroscopy. 2016. Vol. 327. P. 105–121.
2. Комаров В.С., Ломакина Н.Я. Статистические модели пограничного слоя атмосферы Западной Сибири. Томск: ИОА СО РАН. 2008. 222 с.
3. Stamnes K., Tsay S.-C., Wiscombe W., Jayaweera K. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media // Applied Optics. 1988. Vol. 27. P. 2502.

Simulation of solar radiative fluxes, measured by ground-based photometers, with use of different data of ozone and nitrogen dioxide cross sections in the UV spectral region

T.Yu. Chesnokova[1] (ches@iao.ru), Yu.V. Voronina[1], K.M. Firsov[2] (fkm.volsu@mail.ru), A.V. Chentsov[1], A.A. Razmolov[2]

[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*

[2]*Volgograd State University, 100 Universitetsky pr., 400062 Volgograd, Russia*

Ozone is the main absorbing gas in the UV spectral region, and, moreover, it is chemically active. Other smaller contributors to absorption in the UV region are NO_2, SO_2. Monitoring of the atmospheric gases content is carried out by ground-based and satellite spectroscopic methods. To detect ozone content from the atmospheric radiation, measured by different instruments, it is necessary to know the absorption cross sections with accuracy (better than 1 %) in the UV spectral region [1].

In this work, the ozone absorption cross section, often used in the atmospheric calculations, such as data of Bass, Daumont, Molina and new data of Serduchenko are considered. The atmospheric transmission at the vertical path through the atmosphere is calculated with use of different ozone absorption cross sections for meteorological models of Tomsk [2] and Volgograd summer. The difference in the transmissions, calculated with data of Serduchenko and Bass, reaches 12 % in the spectral region near 305 nm, which is often used for retrieval of ozone total content in the atmosphere that can cause to large uncertainties.

To estimate an influence of new ozone absorption cross section data of Serduchenko on the simulation of the UV radiation fluxes, measured by Sun photometers, the calculations are carried out with filters of photometers, operated in Volgograd and Tomsk, for summer meteorological conditions. The equation of solar radiation transfer is solved with use of the discrete ordinate method DISORT [3]. Input data for calculation of the radiative fluxes are altitude profiles of optical depth of gaseous absorption and aerosol, single scattering albedo of aerosol, Rayleigh and aerosol extinction coefficients, aerosol phase function and surface albedo. The ozone absorption cross section data of Bass, Daumont, Molina and Serduchenko and nitrogen dioxide absorption cross sections of JPL-2015, Bogumil, Voight are used in the fluxes simulation. The use of new ozone absorption cross sections data of Serduchenko instead of the Bass data leads to change in total downward flux at the Earth surface about 1 %. The difference between the fluxes, calculated with data of Molina and Bass, is 1.8 % that can cause an error more than 4 % in the ozone atmospheric content retrievals. The difference in NO_2 absorption cross section data contributes less to the calculation of the UV radiative fluxes.

The investigation is financially supported by RFBR, the Administration of Volgograd region in the frame of project № 16-45-3401152 p_a.

1. Orphal J., Staehelin J., Tamminen J., et.al. Absorption cross-sections of ozone in the ultraviolet and visible spectral regions: Status report 2015 // J. of Molecular Spectroscopy. 2016. Vol. 327. P. 105–121.
2. Komarov V.S., Lomakina N.Ya. Statistical models of boundary layer of the West Siberia atmosphere. Tomsk: IAO SB RAS. 2008. 222 pp.
3. Stamnes K., Tsay S.-C., Wiscombe W., Jayaweera K. Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media // Applied Optics. 1988. Vol. 27. P. 2502.

Характеристики ослабления коротких оптических импульсов по ретроспективным данным самолетного зондирования

Черненко А.Е.[1], Бусыгин В.П.[1], Ковалевская О.И.[1], Кузьмина И.Ю.[2] (irkuzmina@bk.ru)

[1]*ГКУ "12 ЦНИИ" Минобороны России, ул. Весенняя 2Б, 141307 Моск. обл. Сергиев-Посад-7, Россия*

[2]*АО НПО "Системы прецизионного приборостроения", ул. Авиамоторная 53, 111024 Москва, Россия*

В настоящее время актуальной является задача обнаружения с космических аппаратов импульсных оптических источников природного или техногенного происхождения. В случае

если источник расположен вблизи от поверхности Земли, под облачным слоем, эта задача сильно осложняется из-за ослабления облачностью оптического излучения и искажения формы оптического импульса. Наличие облачности существенно влияет и на характеристики рассеянного оптического излучения на удаленных наземных приемных устройствах. Амплитуда и форма регистрируемых оптических импульсов зависят от множества параметров атмосферы и подстилающей поверхности. Учет всех параметров является достаточно сложным, поскольку их пространственное распределение и изменение во времени носит случайный характер. Поэтому для описания возможных вариаций характеристик поля целесообразно применять статистические методы, а определяемый коэффициент ослабления излучения рассматривать как функцию случайных величин.

Для реализации данного подхода в работе разрабатываются статистические модели атмосферы с основными метеорологическими элементами и их комплексами, определяющими условия переноса излучения на трассах «земля-космос». В основу построения моделей положены статистические данные, полученные в результате первичной обработки материала самолетного зондирования облачности почти за десятилетний период в 32-х пунктах территории бывшего СССР. Значительный объем материала позволяет выделить районы с близкими сезонно-климатическими особенностями и построить для них дифференциальные функции распределения количества облаков, их водности и геометрической толщины. Это дает возможность получить для рассматриваемых пунктов и районов распределения оптической толщины облаков и коэффициента прозрачности атмосферы, необходимые для выбора порога и оценки вероятности регистрации оптических импульсов, например, молниевых разрядов.

Characteristics of attenuation of short optical pulses based on retrospective data of the atmosphere sensing from aircraft

A.E. Chernenko[1], V.P. Busygin[1], O.I.Kovalevskaya[1], I.Yu. Kuzmina[2] (irkuzmina@bk.ru)
[1]112 CPI Ministryof Defense of the Russian Federation, 2B Vesennyaya str., 141307 Sergiev-Posad-7 Moscow Reg., Russia
[2]JSC "Research-and-Production Corporation "Precision Systems and Instruments", 53 Aviamotornaja str. 111024 Moscow, Russia

At present, there is an actual problem of detection from spacecraft the optical radiation from pulsed sources of natural or anthropogenic origin. If the source is located near the earth's surface, beneath the cloud layer, this task is greatly complicated by the fact that the presence of clouds leads to a weakening of optical radiation and distortion of the optical pulse. The presence of clouds significantly affects the optical characteristics of scattered radiation, recorded from remote ground-based receiving devices. The amplitude and shape of the detected optical pulses depends on many parameters of atmosphere and underlying surface. Spatial distribution and time variation of these parameters is random. Therefore, to describe the possible variations of the characteristics of field it is reasonable to apply statistical methods. The calculated attenuation coefficient of radiation is considered as a function of random variables (parameters).

For implementing this approach, the work develops statistical models of the atmosphere with the main meteorological elements and their complexes, determining the conditions for radiation transport on the tracks «earth-space». Models are built on the basis of statistical data obtained as a result of primary processing of the material airborne sensing of clouds almost over the ten year period in 32 points of the territory of the former USSR. A significant amount of material allows us to select areas with similar climatic features and to build for them differential functions of distribution of water content and geometrical thickness of clouds. This allows to obtain for the considered areas the distributions of optical thickness of clouds and distributions of the coefficient of atmospheric transparency that are needed to select the threshold and evaluation of detection probability of optical pulses, for example, lightning strokes.

Исследование уходящего излучения в P и R–ветвях колебательно-вращательных полос поглощения парниковых газов

Шишигин С.А. (ssa@iao.ru)
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Академика Зуева 1, 634021 Томск, Россия

Рассматривается возможность одновременного определения температуры воздуха и концентрации исследуемого газа в нём. Модель атмосферы представляется в виде приземного однородного слоя и в виде двух однородных слоёв. Параметры слоёв определены для стандартной атмосферы при условии, что вклад в уходящее излучение атмосферы в исследуемых спектральных участках равен сумме вкладов от всех неоднородных слоев [1].

Особенностью P и R-ветвей колебательно–вращательных полос поглощения атмосферных газов является резкое различие изменения коэффициентов поглощения с увеличением температуры. Это позволяет по регистрации мощности излучения в области P и R-ветвей колебательно-вращательной полосы на выходе слоя атмосферы определить температуру воздуха и концентрацию исследуемого газа с учётом теплового излучения воздуха в инфракрасной области спектра. Последовательное изменение размеров слоёв двухслойной модели атмосферы позволяет рассчитать содержания исследуемого газа в любом слое атмосферы [2]. Результаты исследования могут быть использованы в качестве методики для обработки спектров, полученных при помощи современных сенсоров, установленных на спутниках.

1. Шишигин С.А. Методика определения содержания метана в атмосфере с помощью корреляционного радиометра // Исследование Земли из космоса. 2015. № 5. С. 3–8.
2. Шишигин С.А. Метод корреляционной спектроскопии для анализа спектра уходящего излучения атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 2. С. 134–138.

Investigation of the outgoing radiation in P and R-branches of vibration-rotation absorption bands of greenhouse gases

S.A. Shishigin (ssa@iao.ru)
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia

The possibility of simultaneous determination of air temperature and the concentration of the test gas in the air is considered. The atmospheric model is represented as a uniform surface layer and in the form of two homogeneous layers. Parameters of layers are defined for standard atmosphere, provided that the contribution to the outgoing radiation of the atmosphere in the studied spectral regions is equal to contributions in outgoing Earth radiation from all heterogeneous layers, their components [1].

A feature of P and R-branch vibrational-rotational absorption bands of atmospheric gases is a dramatic difference in variations of the absorption coefficient with increasing temperature. This allows determining the air temperature and test gas concentration using radiation power measurements in P- and R-branches of vibrational-rotational band at the output layer of the atmosphere. Successive change of the layer size in two-layer atmospheric model allows us to calculate the test gas content in any atmospheric layer [2]. The results can be used as a technique for processing spectra obtained by means of modern sensors mounted on satellites.

1. Shishigin SA. Method for determining the methane content in the atmosphere using correlation radiometer // Issledovaniya Zemli iz Kosmosa. 2015. № 5. P. 3–8 (in Russian).
2. Shishigin SA. Correlation spectroscopy method for analysis of the spectrum of the outgoing radiation // Optika Atmosfery i Okeana. 2017. Vol. 30, № 2. P. 134–138 (in Russian).

Вариации черного углерода в Арктике

Копейкин В.М.[1] (kopeikin@ifaran.ru), Шевченко В.П.[2], Бубнова С.Е.[2], Говорина И.А.[3], Махотин М.С.[3], Новигатский А.Н.[2], Панкратова Н.В.[1], Пономарева Т.Я.[4], Скороход А.И.[1], Чуракова Е.Ю.[5]

[1]*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия*
[2]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр. 36, 117218 Москва, Россия*
[3]*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга 38, 199397 Санкт-Петербург, Россия*
[4]*Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины 17, 163002 Архангельск, Россия*
[5]*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской федерации, Б. Предтеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия*

Вариации содержания черного углерода (BC) в приводном слое атмосферы получены в 10 рейсах научно-исследовательских кораблей в период 2011–2016 гг. Отбор аэрозольных проб осуществлялся в Северной Атлантике, Норвежском, Баренцевом, Белом, Карском, Восточно-Сибирском морях и Море Лаптевых. Средняя концентрация сажи (в мкг/м^3) за рейс в Северной Атлантике составляет 0.067 в августе 2015 г.; в Норвежском море – 0.036 сентябре 2016 г. и октябре 2015 г.; в Баренцевом море – 0.140 в июне 2014 г., 0.0803 в августе–сентябре 2013 г. и 0.210 в октябре 1998 г.; в Белом море – 0.092 в августе–октябре 2015 г.; в Карском море – 0.076 в августе 2014 г., 0.077 в августе 2015 г., 0.109 в сентябре 2011 г., 0.036 в сентябре 2016 г. и 0.018 в сентябре 2015 г.; в море Лаптевых – 0.084 в сентябре–октябре 2016 г. и 0.043 в сентябре 2015 г. и в Восточно-Сибирском море – 0.084 в октябре 2016 г.

Проведен анализ вариаций концентрации сажи с использованием 2-суточных обратных траекторий переноса воздушных масс, построенных с помощью модели HYSPLIT [1]. Показано, что в некоторых участках круизов, куда прибывают воздушные массы из фоновых районов высоких широт, концентрация BC низкая, а в других частях маршрута воздушные массы прибывают из промышленно развитых районов с сильными источниками BC, включая газовые районы (факельное сжигание в Западной Сибири), там концентрация BC была значительно выше. В сентябре 2011 г. концентрация BC находится в интервале 0.22–0.94 мкг/м^3 (5 случаев со значением 0.94 мкг/м^3 получено, когда воздушная масса воздуха прошла через г. Норильск). С приходом воздушных масс с северо-западного направления концентрация BC в сентябре–октябре 2016 г. не превышает 0.150 мкг/м^3, а с приходом с материковой части России (с пол-ва Таймыр) концентрация BC варьирует в интервале 0.400–0.850 мкг/м^3. Средняя концентрация BC летнего периода 2011–2016 гг. в 1.7 раза превышает значение осеннего периода (0.090 и 0.054 мкг/м^3).

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы 3 фундаментальных исследований Президиума РАН (проект № 0149-2015-0056).

1. http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html.

Black carbon variations in the Arctic regions

V.M. Kopeikin[1] (kopeikin@ifaran.ru), V.P. Shevchenko[2], S.E. Bubnova [2], I.A. Govorina [3], M.S. Mahotin[3], A.N. Novigatsky[2], N.V. Pankratova[1], T.Ya. Ponomareva[4], A.I. Skorohod[1], E.Yu. Churakova[5]

[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovsky pr., 117997 Moscow, Russia*
[3]*Arctic and Antarctic Reasearch Institute, 38 Bering str., 199397 Saint-Petersburg, Russia*
[4]*Hydrometeorological Research Center of Russia, 11-13 B. Predtechensky per., 123242 Moscow, Russia*
[5]*Northern (Arctic) Federal University, 17 nab. Severnoi Dvini, 163002 Archangelsk, Russia*

Variations of soot aerosol content in the surface layer of the atmosphere were obtained in the 10 flights of research ships in 2011–2016. The selection of aerosol samples was carried out in the North Atlantic, the Norwegian, Barents, White, Kara seas, the Laptev Sea and the East Siberian Sea. The average concentration of black carbon (BC) (in μg/m^3) per flight in the North Atlantic is 0.067 in August 2015; in the Norwegian Sea – 0.036 in September 2016 and October 2015; in the Barents Sea – 0.140 in June 2014, 0.080 in August–September 2013 and 0.210 in October 1998; in the White Sea – 0.092 in August–October 2015; in the Kara Sea – 0.076 in August 2014, 0.077 in August 2015, 0.109 in September 2011, 0.036 in September 2016 and 0.018 in September 2015; in the Laptev Sea – 0.084 in September–October 2016 and 0.043 in September 2015; in the East Siberian Sea – 0.084 in October 2016.

The analysis of the variations of the soot concentration using a 2-day back trajectories of air mass transfer, built by the model HYSPLIT [1]. It is demonstrated that to some parts of the cruises route air masses arrived from background areas of high latitudes (the BC concentration were low there) and to other parts of the route air masses arrived from industrially developed areas with strong BC sources including areas of gas flaring in the West Siberia (the BC concentrations were considerably higher there). In September 2011, the BC concentrations are in the range of 0.22–0.94 μg/m^3 (5 cases with the value of 0.94 μg/m^3 were obtained when the air mass of air passed through the Norilsk). With the advent of air masses from the north-west direction, the BC concentration in September–October 2016 does not exceed 0.150 μg/m^3, and with the arrival to Russian mainland (from the Taimyr Peninsula) the BC concentrations vary in the range of 0.400–0.850 μg/m^3. The average BC concentration in the summer period of 2011–2016 exceeds by 1.7 times the value of the autumn period (0.090 and 0.054 μg/m^3).

This work was supported by the Program of 3 Fundamental Researches of the Presidium of Russian Academy of Sciences (project No. 0149-2015-0056).

1. http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html.

Аэрозоль и сажа в атмосфере Российской Арктики (наземные, морские и самолетные исследования)

Терпугова С.А.[1], Панченко М.В.[1], Сакерин С.М.[1], Кабанов Д.М.[1], Зенкова П.Н.[1], Полькин В.В.[1], Полькин Вас.В.[1], Козлов В.С.[1], Шмаргунов В.П.[1], Чернов Д.Г.[1], Лисицын А.П.[2], Шевченко В.П.[2], Голобокова Л.П.[3], Радионов В.Ф.[4]

[1]*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия*
[2]*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр. 36, 117218 Москва, Россия*
[3]*Лимнологический институт СО РАН, ул. Улан-Баторская 3, 664033 Иркутск, Россия*
[4]*Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга 38, Санкт-Петербург, Россия*

Арктический регион является важной составляющей климатической системы Северного полушария. Здесь практически отсутствуют собственные источники аэрозоля, атмосфера менее загрязнена по сравнению с другими регионами Земли. В то же время, она подвержена сильному влиянию дальнего переноса примесей из континентальных районов Евразии и Северной Америки.

В работе представлены результаты многолетних исследований, ведущихся нами в Арктическом регионе. Основными исследуемыми характеристиками являются коэффициент рассеяния в видимой области спектра, счетная концентрация и дисперсный состав частиц, массовая концентрация поглощающего вещества (сажи) в приповерхностном слое и диапазоне высот 0–7 км, аэрозольная оптическая толща, химический состав аэрозоля. Изучение аэрозоля в Арктике ведется на различных стационарных и мобильных платформах. Совместно с ИО РАН и ААНИИ были проведены рейсы НИС «Академик Мстислав Келдыш» и «Профессор Штокман», НЭС «Академик Федоров» (2003–2016). Исследована атмосфера в акваториях Белого, Карского и Баренцева морей и на трассе Северного морского пути от Архангельска до Владивостока. Наземные измерения проводились в пунктах Унский маяк (2006), Тикси (2010), Баренцбург (Шпицберген, 2011–2017). Совместно с Национальным центром научных исследований, Франция, состоялись полеты самолета-лаборатории в арктических и субарктических широтах по программам POLARCAT и YAK-Aerosib (2008–2014).

Изучены закономерности пространственно-временной изменчивости характеристик аэрозоля в приповерхностном слое и столбе атмосферы. Выявлены эпизоды влияния дымов удаленных лесных пожаров в умеренных широтах на характеристики атмосферы в Арктическом регионе. Оценен вклад морских и континентальных источников в формирование состава приводного аэрозоля.

Работы выполнялись при финансовой поддержке Программ Президиума и ОНЗ РАН, Президиума СО РАН. В 2016 г. измерения в Карском море выполнены при поддержке гранта РНФ № 14-50-00095, измерения в Баренцевом море – при поддержке гранта РНФ № 14-27-00114. Работы на РНЦШ в Баренцбурге велись при поддержке Межведомственной программы научных исследований и наблюдений на архипелаге Шпицберген в 2016 г., анализ результатов – при поддержке Программы ОНЗ РАН № II.2П/IX.135-8.

Aerosol and soot in the atmosphere of Russian Arctic (ground-based, shipborne and airborne researches)

S.A. Terpugova[1], M.V. Panchenko[1], S.M. Sakerin[1], D.M. Kabanov[1], P.N. Zenkova[1], V.V. Pol'kin[1], Vas.V. Pol'kin[1], V.S. Kozlov[1], V.P. Shmargunov[1], D.G. Chernov[1], A.P. Lisitzin[2], V.P. Shevchenko[2], L.P. Golobokova[3], V.F. Radionov[4]

[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., Tomsk, Russia*
[2]*P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovsky pr., 117997 Moscow, Russia*
[3]*Limnological Institute SB RAS, 3 Ulan-Batorskaya str., 664033 Irkutsk, Russia*
[4]*Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 Saint-Petersburg, Russia*

Arctic region is an important part of the Northern hemisphere climatic system. Here there are practically no aerosol sources, the atmosphere is less polluted in comparison with other regions of the Earth. At the same time, because of atmospheric circulation, it undergoes strong influence of the remote transfer of admixtures from continental regions of Eurasia and Northern America.

This paper presents the results of long-term investigations that we carry out in Arctic. The main characteristics under study are aerosol scattering coefficient in the visible wavelength range, number concentration and disperse composition of particles, mass concentration of absorbing substance (soot) in the surface layer and height range up to 7 km, aerosol optical depth, and chemical composition of particulate matter. Aerosol research in Arctic is carried out on different stationary and mobile platforms. Cruises of RV "Akademik Mstislav Keldysh", "Professor Shtokman", "Akademik Fedorov" were carried out together with Institute of Oceanology RAS and Arctic and Antarctic Research Institute (2003–2016). The atmosphere is studied over White, Kara, and Barents Seas as well as on the Northern Sea Route. Ground-based measurements were carried out at Unskij Mayak (2006), Tiksi (2010), and Barentsburg (Svalbard, 2011–2017). Together with The National Center for Scientific Research, France, we performed flights of the aircraft-laboratory in Arctic and sub-Arctic latitudes under the projects POLARCAT and YAK-Aerosib (2008–2014).

The peculiarities of spatial-temporal variability of the aerosol characteristics in the surface layer and the atmospheric column are studied. The smoke events from remote forest fires in midlatitudes were observed in the Arctic atmosphere. The contribution of marine and continental sources in the formation of near-water aerosol composition is estimated.

The work was supported in part by Programs of Presidium and Department of Earth Sciences RAS, Presidium SB RAS. In 2016, measurement in Kara Sea were carried out under grant of Russian Scientific Foundation No. 14-50-00095, measurements in Barents Sea were carried out under grant of Russian Scientific Foundation No. 14-27-00114. The work in Barentsburg was supported in part by Interdepartmental Program of Scientific Research and Observations on Svalbard. Analysis of the results was supported in part by Program of Department of Earth Sciences RAS No. II.2П/IX.135-8.

Источники черного углерода и их вклады в загрязнение приземного воздуха в арктических районах России

Виноградова А.А. (anvinograd@yandex.ru), Васильева А.В.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Проведено сопоставление величин эмиссии черного углерода (black carbon – BC) с территории России, полученных на основе разных данных (статистика РФ и спутниковая информация) для 2000–2014 годов. Антропогенные эмиссии BC рассмотрены по данным MACCity [http://eccad.sedoo.fr/eccad_extract_interface/JSF/page_login.jsf] для севера Восточного полушария. В эти данные для территории России вставлены эмиссии BC с сайта [http://acs.engr.utk.edu/Data.php] – BCRUS. Проведена корректировка (по оценкам [1]) для зоны факелов нефте- и газодобычи в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском АО РФ. Общая оценка такова: север Евразии (севернее 52° с.ш.) за год поставляет в атмосферу около 315 т.т антропогенного черного углерода, из которого примерно две трети – с территории России.

Эмиссии BC от пожаров на территории России анализировались по спутниковым данным сайта GFED [http://www.globalfiredata.org] и оценкам MODIS по данным [MODIS MCD45 Burned Area Level3 product], а также по данным статистики Рослесхоза (RLH [www.pushkino.aviales.ru]). По влиянию на северные территории России наилучшей оценкой (с погрешностью ± 25 %) можно считать средний вклад от пожаров, рассчитанный по распределениям величин эмиссий (GFED и RLH). При этом средняя эмиссия BC от летних пожаров в России (севернее 52° с.ш.) по данным GFED примерно в 3 раза выше, чем по данным RLH.

Оценки дальнего переноса BC в атмосфере основаны на анализе массивов обратных траекторий движения воздушных масс [2]. Пространственные различия концентрации BC в приземном воздухе арктических районов России могут достигать 100 и более раз. Основные факторы, формирующие содержание черного углерода в воздухе разных районов российской Арктики:

1. Северо-запад. Основной вклад в загрязнение воздуха черным углеродом – от антропогенных источников (от факелов зимой меньше 5 %). Средний вклад пожаров летом 10–25 %. Летом 2010 года на Кольском п-ове влияние всех источников загрязнения минимально – за счёт аномальной циркуляции атмосферы над Европейской частью России.

2. Центр. Высока роль в загрязнении BC от эмиссий факелов открытого сжигания попутных газов при нефте- и газодобыче: зимой больше 70 % (до 95 % при оценках эмиссий по данным BCRUS). Вклад пожарных эмиссий BC летом менее 5 %.

3. Район станции Тикси (дельта р. Лена). Летом и зимой концентрация BC в воздухе очень мала – на порядок ниже, чем в центре. Сильные межгодовые вариации концентрации BC и вкладов всех групп источников. В отдельные годы зимой вклады зоны факелов могут быть до 30%, летом основной вклад дают пожары в азиатской части России.

Подчеркнем, что большие межгодовые и межсезонные различия концентраций BC в воздухе российской Арктики не позволяют использовать результаты измерений содержания

BC в воздухе одного пункта в течение одного сезона или даже одного года для долгосрочных выводов и прогнозов в отношении всего региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №№ 17-05-00245. Благодарим организаторов сайта Лаборатории воздушных ресурсов [www.arl.noaa.gov] за возможность пользоваться программой HYSPLIT.

1. Виноградова А.А. Эмиссии антропогенного черного углерода в атмосферу: распределение по территории России // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 12. С. 1059–1065.
2. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территорий // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13, № 4. С. 5–20.

Atmospheric black carbon sources and their contributions to Russian arctic air pollution

A.A. Vinogradova (anvinograd@yandex.ru), A.V. Vasileva
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

Black carbon (BC) emissions from Russian territory were analyzed using the official RF statistics and satellite data for 2000–2014. Anthropogenic BC emissions were taken from MACCity data [http://eccad.sedoo.fr/eccad_extract_interface/JSF/page_login.jsf] for the North of East Hemisphere with the data BCRUS [http://acs.engr.utk.edu/Data.php] for Russian territory. Moreover, the corrections for intensive flaring zones in Yamalo-Nenets and Khanty-Mansi Okrugs were made in comparison with the results of [1]. Total anthropogenic emission from Northern Eurasia (to the North from 52° N) is estimated as 315 kt BC annually. About 2/3 from this value is emitted from Russian territory.

BC emissions from wildfires on Russian territory were analyzed from satellite data GFED [http://www.globalfiredata.org] and MODIS [MODIS MCD45 Burned Area Level3 product], as well as from Russian statistics RLH [www.pushkino.aviales.ru]. The best results (with 25 % deviation) of BC impact from wildfires on the Russian North may be the mean values from RLH and GFED estimates for every point and every season. Average BC emission from Russian fires (to the North from 52° N) in summer is nearly 3 times higher from GFED data than from RLH ones.

Our model estimates of long-range BC air transport are based on statistic analysis of air mass transport back-trajectories to some points in the Russian North [2]. Spatial divergences of air BC concentrations in these sites can be up to 100 times and more. The main factors forming BC concentrations in different regions of the Russian Arctic are the follow:

1. North-West. In this region the main BC contributions are from anthropogenic sources (but less than 5% from flares in winter). Mean contributions from wildfires in summer are about 10–25 %. In summer 2010 on Kola Peninsula the influence of all pollution sources is minimal due to abnormal atmospheric circulation over the European part of Russia.

2. Center. In this region the role of open flares accompanying oil/gas mining industry in BC pollution is high. The contribution of these sources may exceed 70 % in winter (up to 95 % from BCRUS data). In summer contribution from wildfires to air BC concentration does not exceed 5 %.

3. The Tiksi region (Delta of the Lena River). Annually, there are quite low air BC concentrations in this region – more than 10 times less in comparison with the Center. There are high variations in BC concentration, as well as in contributions from all BC sources from year to year. In some years in winter flare's contribution may be up to 30%, but in summer the main impact is from wildfires occurring on Asian territory of Russia.

It should be noted that great inter-annual and seasonal variations in BC air concentration through Russian Arctic territory does not allow to use results of BC air concentration measurements, obtained in one point during one season or even one year, for long term conclusions/forecasts concerning the Arctic region as whole.

The work is supported by Foundation for Basic Research (grant No. 17-05-00245). Authors thank a lot Air Resources Laboratory for free used HYSPLIT model.

1. Vinogradova A.A. Anthropogenic Black Carbon Emissions to the Atmosphere: Surface Distribution through Russian Territory // Atmospheric and Oceanic Optics. 2015. Vol. 28, No. 2. P. 158–164.

2. Vinogradova A.A. Distant Evaluation of the Influence of Air Pollution on Remote Areas // Izv., Atmospheric and Oceanic Physics. 2015. V. 51, No. 7. P. 712–722.

Долгопериодная изменчивость загрязнения атмосферы Пекина субмикронным аэрозолем и черным углеродом

Емиленко А.С.[1] (emilas@list.ru), Копейкин В.М.[1], Ван Генчень[2]
[1]*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия*
[2]*Институт физики атмосферы КАН, Пекин, Китай*

Проиллюстрированы оптические измерения приземных концентраций субмикронного аэрозоля и сажи (BC) во время осенних измерений1992–2015 гг. в Пекине. Обсуждаются особенности долговременных изменений этих примесей. В 2003, 2004, 2007, 2010 и 2013–2015 наблюдения проводились одновременно на фоновой региональной станции Синлун и в городе. Показано, что существенную роль играют естественные факторы, которые не зависят от деятельности человека, а именно, смены воздушных масс. В ежемесячном цикле измерений всегда происходит от 3 до 6 периодов высокого загрязнения атмосферного воздуха аэрозолями, которые создают не только Пекин, но и вся густонаселенная часть Китая к югу от мегаполиса. Поэтому среднемесячная концентрация субмикронного аэрозоля в Пекине всегда высокая. Выбросы BC сократились в три раза за эти годы. Такое уменьшение произошло за счет сокращения выбросов первичных городских источников субмикронного аэрозоля. Значительный вклад в суммарную концентрацию субмикронного аэрозоля в городе вносит региональная добавка, значение которой зависит от метеорологических условий и антропогенной деятельности в секторе, расположенном к югу от Пекина на расстоянии 100–500 км от столицы Китая. Эта добавка превышает среднемесячные концентрации субмикронного аэрозоля городских источников из-за регулярных эпизодов смога в атмосфере Пекина.

В дополнение к регулярным измерениям концентрации BC и тонкодисперсного аэрозоля проведены осенью 2015 измерения прибором ГРИММ EDM 180-MC, которые наглядно продемонстрировали роль PM1 фракции в формировании высокой концентрации аэрозоля во время осенних измерений в районе Пекина. Субмикронный аэрозоль поглощает большое количество газовых примесей в течение срока его региональной трансформации, что не позволяет отслеживать результаты действий по сокращению выбросов непосредственно городских источников загрязнения атмосферы. Оказалось, что концентрация сажи в Пекине, в отличие от концентрации всего субмикронного аэрозоля определяется именно городскими источниками. С 1999 года к 2015 году концентрация черного углерода уменьшилось в шесть раз, несмотря на увеличение городского населения с 8 млн. до 20 млн. человек.

Эта работа частично поддержана Российским Фондом фундаментальных исследований (Проект 16-05-00985_а).

1. Emilenko Alexander S., Mikhail A. Sviridenkov, Vladimir M. Kopeikin, Wang Gengchen. Long-term variations in submicron aerosol pollution in 2003–2015in the Atmosphere over Beijing // Proc. SPIE 10035. 2016. doi:10.1117/12.2249315
2. Голицын Г.С., Гречко Е.И., Ван Генчень и др. Исследование загрязнения Москвы и Пекина окисью углерода и аэрозолем // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 1. С. 1–12.

Long-term variations of fine aerosol and black carbon pollutions in Beijing

A.S. Emilenko[1] (emilas@list.ru), V.M. Kopeikin[1], Gengchen Wang[2]
[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*Institute of Atmospheric Physics CAS, 100029 Beijing, China*

The optical measurements of fine aerosol and black carbon (BC) surface concentrations during the falls of 1992–2015 in Beijing are illustrated. The specific features of long-term variations

in these impurities are discussed. The 2003, 2004, 2007, 2010 and 2013–2015 observations were performed simultaneously at the background regional station Xinglong and in the city. It is shown that the role of the natural factor that does not depend on human activities, namely, on the time changes of air masses coming from the North-East, is essential. For the monthly measurement cycle, there are always from 3 to 6 periods of high atmospheric pollution by aerosols, which creates not only Beijing, but also the entire populous part of China South of the metropolis. Therefore, the average concentration of fine aerosol in Beijing is always high. The results of comparison between data obtained in Beijing and at the background station showed that, in Beijing, during the falls of 2003–2015, the urban sources of anthropogenic emissions mainly contributed to the BC components. These emissions decreased by a factor of three over these years. Such a decrease was due to a reduction of the urban primary emissions of submicron aerosol. A significant contribution to the total concentration of fine aerosol in the city was made by a regional additive, whose value depends on meteorological conditions and anthropogenic activity in the sector located to the south of the Beijing at a distance of 100–500 km from the capital of China. This additive exceeds the monthly mean concentrations of fine aerosol from urban sources due to regular smog episodes in the atmosphere over Beijing.

In addition to the regular measurements of the concentrations of BC and PM1, the results of measurements performed with a GRIMM EDM 180-MC instrument in the fall of 2015 were also used, which clearly demonstrated the role of the PM1 fraction in the formation of high aerosol concentrations in the region of Beijing. Because of the fine aerosol absorbs a large amount of gases impurities during the period of its regional transformation, it is not possible to trace the results of actions for reduction of emissions directly to urban sources of atmospheric pollution. It turned out that the concentration of black carbon in Beijing, in contrast to the concentration of the fine aerosol is determined by urban sources. During the measurements, the BC concentration in the fall 2015 decreased in comparison with 1999 by six times, in spite of the increasing urban population from 8 million to 20 million people.

This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (16-05-00985_a).

1. Emilenko Alexander S., Mikhail A. Sviridenkov, Vladimir M. Kopeikin, Wang Gengchen. Long-term variations in submicron aerosol pollution in 2003–2015in the Atmosphere over Beijing // Proc. SPIE 10035. 2016. doi:10.1117/12.2249315
2. Golitsyn, G.S., Grechko, E. I., Wang G., et al. Studying the Pollution of Moscow and Beijing Atmospheres with Carbon Monoxide and Aerosol // Izv. Atmospheric and Oceanic Physics. 2015. Vol. 51, No. 1. P. 1–11.

Исследование влияния лесных пожаров в восточной Сибири на аэрозольные параметры атмосферы

Томшин О.А. (tomshinoa@gmail.com), Соловьев В.С.
Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31, 677980 Якутск, Россия

Представлены результаты исследований динамики лесных пожаров (ЛП) в бореальных лесах Якутии (Восточная Сибирь) за 2001–2016 гг. Проведено исследование вариаций аэрозольной оптической толщины атмосферы (АОТ, 550 нм), аэрозольного индекса (АИ) и общего содержания угарного газа в период май–сентябрь в годы с различным уровнем лесопожарной активности. Показано, что сезонный ход АОТ, АИ и СО в наиболее пожароопасные годы существенно отличается от сезонного хода в года со средним и низким уровнем лесопожарной активности. Лесные пожары в Якутии оказывают значительное воздействие на сезонный ход аэрозольной компоненты атмосферы, формируя существенный рост АОТ/АИ в июле–августе. В отдельные месяцы с наиболее высоким уровнем пирогенной активности среднемесячные значения АОТ по исследуемому участку (Якутия) значительно превышали фоновые (~ 0.18), достигая значений 0.48. При этом значения АОТ в отдельных ячейках (1° x 1°) среднемесячной карты распределения достигали 1.73. В годы с высоким и средним уровнем лесопожарной активности наблюдались повышенные значения

температуры воздуха в период май–июль относительно среднемноголетних. Значения относительной влажности в период май–сентябрь в годы с высоким и средним количеством ЛП более низкие, в то время как в наименее пожароопасные годы значения влажности ближе к среднемноголетним. Сезонный ход осадков во все периоды примерно одинаков.

Investigation of the influence of forest fire in Eastern Siberia on aerosol parameters of the atmosphere

O.A. Tomshin (tomshinoa@gmail.com), V.S. Solovyev
Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin ave., 677980 Yakutsk, Russia

The results of studies of the dynamics of forest fires in the boreal forests of Yakutia (Eastern Siberia) for 2001–2016 are presented. Variations of aerosol optical thickness of the atmosphere (AOT, 550 nm), aerosol index (AI) and total carbon monoxide content during the period May–September in years with different levels of forest fire activity were studied. It is shown that the seasonal cycle of AOT, AI and CO in the most fire-dangerous years differs significantly from the seasonal cycle in the years with medium and low level of forest fire activity. Forest fires in Yakutia have a significant impact on the seasonal cycle of the aerosol component of the atmosphere, forming a significant growth of AOT/AI in July–August. In individual months with the highest level of pyrogenic activity, the average monthly AOT values for the study site (Yakutia) were significantly higher than the background ones (~ 0.18), reaching values of 0.48. At the same time, the AOT values in individual cells (1° x 1°) of the average monthly distribution map reached 1.73. In the years with high and medium level of forest fire activity, air temperatures in the period May–July relative to the average annual were observed. The values of relative humidity in the period May–September in years with high and average number of wildfires are lower, while in the least fire-dangerous years the moisture values are closer to the average annual. The seasonal cycle of precipitation is approximately the same in all periods.

Методы средних потоков и N-потоков для моделирования радиационного форсинга облаков на климат

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В., Краснокутская Л.Д.
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

Настоящий доклад – это дань памяти и посвящение моим УЧИТЕЛЯМ, достижения которых определили развитие НАУКИ и ОБРАЗОВАНИЯ не только в 20-м, но и в 21-м веке и повлияли не только на наши, но и на научные успехи многих исследователей. М.В. Келдыш и А.Н. Тихонов в 1953 году основали ПЕРВЫЙ в мире Институт прикладной математики, создали специальность «прикладная математика» и «computer sciences», в 1970 году основали факультет вычислительной математики и кибернетики в МГУ им. М.В. Ломоносова! М.В. Келдыш и А.Н. Тихонов в 40–60-е годы заложили основы современного постиндустриального уклада экономики и информационного общества! С именем Евграфа Сергеевича Кузнецова связаны пионерские труды по радиационному форсингу на климат (первые публикации в 1925–1927 гг.) и основополагающие работы по теории переноса излучения, заряженных частиц и нейтронов [1]. С. Чандрасекар в США, а Е.С. Кузнецов в СССР – первые вычислители и модельеры в этой области.

Е.С. Кузнецов одним из первых понял особо важную роль облачности не только для оптики атмосферы, но и в лучистом теплообмене. Он указал на необходимость преодоления серьезных трудностей в расчете переноса излучения в оптически плотных средах – облаках. Перенос излучения в облаках в силу высокой кратности рассеяния и сильной анизотропии рассеяния требует разработки специальных методов решения уравнения переноса. Кузнецов

предложил приближенные решения задачи, в которых определяются полусферические потоки отраженного и пропущенного облаком света и угловые распределения интенсивности. Другой метод решения уравнения переноса излучения в облаках состоит в том, что сильно меняющаяся часть решения выделяется с помощью малоуглового приближения, а затем численно находится поправка к этому приближению. Таким способом удалось составить общую картину светового поля при солнечном освещении в однородных плоских слоях облакоподобной среды. Это направление активно развивали Е.М. Фейгельсон [2–5] и Т.А. Сушкевич [5–10] – первая и последняя ученицы Кузнецова.

В 60-ые годы XX-го века исследования облачности оказались востребованными в связи с началом космической эпохи и развитием космических систем наблюдения. Одновременно повышался интерес к лучистому теплообмену в облаках, который является важным радиационным фактором в моделях прогноза погоды и климата. Для массовых интегральных по спектру оценок до настоящего времени используются одномерная плоская модель атмосферы с облаками и быстрые методы расчета потоков [6–7]. Наибольшие проблемы связаны с расчетами спектральных характеристик при более адекватных моделях облачности с аэрозолями и загрязняющими примесями. Предпринимаются попытки параметризации и усреднения спектров поглощения [4]. Такие исследования проводились и ранее [8–10] и впервые докладывались на конференции в Алма-Ате в 1969 году [8]. Эти аналоги многогруппового подхода в нейтронной физике применительно к атмосфере с облаками оказались неэффективными. Но некоторые и сейчас напрасно идут по этому тупиковому пути.

Работа поддерживается грантами РФФИ (проекты № 15-01-00783, № 17-01-00220) и проектом ОМН-3(3.5) ПФНИ РАН.

1. Кузнецов Е.С. Избранные научные труды (в связи со 100-летием со дня рождения) / Ответ. редактор и составитель Сушкевич Т.А. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. 784 с.
2. Фейгельсон Е.М. Лучистый теплообмен и облака. – Л.: Гидрометеоиздат. 1970. 228 с.
3. Фейгельсон Е.М., Краснокутская Л.Д. Потоки солнечного излучения и облака. – Л.: Гидрометеоиздат. 1978. 157 с
4. Гинзбург А.С., Фейгельсон Е.М. Параметризация лучистого теплообмена в моделях общей циркуляции атмосферы // В сб.: Физика атмосферы и проблема климата. – М.: Наука. 1980. С. 42–66.
5. Фейгельсон Е.М., Краснокутская Л.Д., Сушкевич Т.А. и др. Радиация в облачной атмосфере // Монография (коллективная) под ред. Е.М.Фейгельсон. – Л.: Гидрометеоиздат. 1981. 280 с.
6. Гермогенова Т.А., Сушкевич Т.А. Решение уравнения переноса методом средних потоков // В сб.: «Вопросы физики защиты реакторов». Вып. 3. – М.: Атомиздат. 1969. С. 34–46.
7. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2005. 661 с.
8. Гермогенова Т.А., Копрова Л.И., Малкевич М.С., Сушкевич Т.А. Исследование характеристик поля рассеянного солнечного излучения в сферической атмосфере // Тезисы Всесоюзного совещания по рассеянию света в атмосфере, Алма-Ата, 1969. – Алма-Ата: Изд-во «Наука» КазССР. 1969. С. 5–6.
9. Сушкевич Т.А., Хохлов В.Ф. Аппроксимация функций суммой экспонент // М., 1975. 65 с. (Препринт / ИПМ АН СССР, № 80).
10. Сушкевич Т.А., Краснокутская Л.Д. Аналитическое представление интегральной функции пропускания облаков // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1977. Т. 13, № 5. С. 505–514.

Methods of average flows and N-flows for modeling the cloud radiation forcing on the climate

T.A. Sushkevich (tamaras@keldysh.ru), S.A. Strelkov, S.V. Maksakova, L.D. Krasnokutskaya

M.V. Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia

This report is a tribute and dedication to my TEACHERS, the achievement of which determined the development of SCIENCE and EDUCATION not only in the 20th, but in the 21st century and they have affected not only ours, but also scientific progress of many researchers. In 1953 M.V. Keldysh and A.N. Tikhonov founded the world's FIRST Institute of Applied Mathematics, created a specialty "applied mathematics" and "computer sciences", in 1970 founded the faculty of computational mathematics and cybernetics in M.V. Lomonosov Moscow State

University! In 40–60 years M.V. Keldysh and A.N. Tikhonov laid the basis of the modern post-industrial way of economy and the information society! The pioneering works on the radiation forcing on the climate (first published in 1925–1927) and the fundamental works on transfer radiation theory of charged particles and neutrons are connected with the name of Evgraf Sergeevich Kuznetsov. S. Chandrasekhar in the U.S. and E.S. Kuznetsov in the USSR are the first calculators and the mathematical designers in this field.

E.S. Kuznetsov one of the first has understood especially important role of clouds not only for atmosphere optics, but also in radiant heat exchange. He pointed to the need to overcome the serious difficulties in calculating the radiation transfer in optically dense media – clouds. The radiation transfer in the clouds because of the high multiplicity of scattering and strong scattering anisotropy requires the development of special methods of solving the transfer equation. Kuznetsov proposed an approximate solutions to the problem, in which hemispherical light fluxes reflected and missed by cloud and the angular distribution of intensity are defined. Another method of solving the radiation transfer in clouds consists that strongly varying part of the solution is allocated using the small-angle approximation, and then an amendment to this approach is defined. In this way it was possible to draw a general picture of the light field at the sunlight in a homogeneous layers of the cloud media. This direction is actively developed by Feigelson E.M., and T.A. Sushkevich – the first and last students of Kuznetsov.

In 60th years of the XX-th century, the study of clouds was demanded in connection with the beginning of the space age and the development of space surveillance systems. At the same time the interest in the radiative heat transfer in clouds which is an important factor in weather prediction models and climate was increased. To date for the mass integrated over the spectrum evalutions one-dimensional model of the atmosphere with clouds and the quick methods of the flux calculation are used. Most problems are associated with calculations of spectral characteristics using more adequate models of clouds with aerosols and polluting impurities. Attempts of parametrization and averaging of absorption spectra are made. Such studies have been carried out earlier and were first presented at the conference in 1969. These analogs of multi-group approach to neutron physics as applied to cloud atmosphere were inefficient. But some researchers continue to go in vain on this deadlock way.

The reported study was funded by RFBR according to the research projects 15-01-00783, 17-01-00220 and by project OMN-3(3.5) PFNR RAS.

Параметризация основных микрофизических и оптических характеристик однородных облачных слоев смешанного фазового состава

Петрушин А.Г. (petrushin-2005@mail.ru)
Обнинский институт атомной энергетики, филиал МИФИ, Студгородок 1, 249040 Обнинск, Калужская обл., Россия

С целью проведения расчетов основных радиационных характеристик облачных слоев смешанного фазового состава (альбедо облачного слоя и коэффициента пропускания) нами определялись необходимые оптические характеристики рассеяния излучения (средний косинус индикатрисы рассеяния излучения, усредненные факторы и показатели эффективности рассеяния излучения, альбедо однократного рассеяния) частицами в облаках для отдельных длин волн в диапазоне от 0.6 до 10.6 мкм. Применялись предложенные нами ранее модели микроструктуры смешанного облака, содержащего ледяные кристаллы и водяные капли, равномерно перемешанные по объему, и методики расчета оптических характеристик ледяных кристаллов с правильными формами (пластинками и столбиками) с размерами, превышающими длину волны падающего излучения [1]. Результаты расчетов основных оптических характеристик показали значительный разброс указанных характеристик, связанный, прежде всего, с возможной изменчивостью размеров капель в

смешанных облаках. В диапазоне температур воздуха в смешанной облачности 275 К > T > 250 К с увеличением длины волны он возрастает, и при максимальных и минимальных модальных радиусах капель указанные характеристики изменяются до трех раз [2]. Отметим, что при этом изменчивость рассмотренных интегральных радиационных характеристик облачных слоев с оптическими толщинами $1 < \tau < 10$ при использовании рассчитанных оптических характеристик, составляла порядка 35 % [2].

Для снятия неопределенности вышеуказанных оптических и радиационных характеристик нами выполнена коррекция ранее предложенной модели микроструктуры смешанного облачного слоя. Используется модель микроструктуры капельной фракции указанного облачного слоя в зависимости от его температуры. Принимая во внимание механизм перекачки водяного пара с капель на поверхность кристаллов Бержерона–Финдайзела при различии упругости насыщения его над водой и льдом [3] с уменьшением температуры, полагаем, что поверхность водных капель линейно уменьшается при уменьшении температуры, достигая нулевых значений при T = 250 К. При этом относительная концентрация капель и кристаллов считается независимой от температуры. Указанная модель качественно согласуется с известной аппроксимацией Сандквиста [4], по которой в смешанном облаке капли практически исчезают при Т = 250 К.

В работе приводятся значения альбедо однократного рассеяния и средние косинусы индикатрисы рассеяния излучения для отдельных длин волн рассмотренного диапазона для слоев смешанного облачного состава в зависимости от их средней температуры. В качестве модели микроструктуры кристаллической фракции смешанного облака используется ранее предложенная нами модель [2]. Заметим, что размеры кристаллов в указанной модели остаются фиксированными при увеличении температуры в облаке, хотя они должны увеличиваться по причине перегонки пара с водяных капель. Однако, если размеры кристаллов значительно превышают длину волны падающего на них излучения, то относительное изменение размеров кристаллов при сохранении их первоначальной формы практически не сказывается на их оптических характеристиках [2].

1. Волковицкий О.А. и др. Оптические свойства кристаллических облаков. Л.: Гидрометеоиздат. 1984. 198 с.
2. Петрушин А.Г. О параметризации основных оптических и радиационных характеристик однородных облачных слоев смешанного фазового состава // Изв.РАН, ФАО. 2016. Т. 52, № 3. С. 293–299.
3. Hobbs P.V., Deepak A. Clouds, their formation, optical properties and effects. London: Acad. Press. 1981. 313 p.
4. Sundqvist H. Inclusion of ice phase of hydrometeors in cloud parameterization for mesoscale and largescale models // Beitr. Phys. Atm. 1993. No 66. P. 445–453.

Parameterization of key microphysical and optical characteristics of homogeneous layers of mixed phase clouds

A.G. Petrushin (petrushin-2005@mail.ru)

National Research Nuclear University “MEPhI”, Obninsk Department, 1 Studgorodok, 249040 Obninsk Kaluga reg., Russia

In order to perform calculations of the main radiation characteristics of cloud layers of mixed phase composition (albedo of the cloud layer and transmittance), we determined necessary optical characteristics of the radiation scattering (asymmetry parameter of the scattering phase function, single-scattering albedo) by particles in the clouds for individual wavelengths in the range from 0.6 to 10.6 μm. The previously proposed microstructure models of a mixed cloud containing ice crystals and water droplets uniformly mixed in volume and methods for calculating the optical characteristics of ice crystals with regular shapes (plates and columns) with dimensions exceeding wavelengths were applied [1]. The results of calculations of the main optical characteristics have shown a considerable difference of these characteristics, primarily due to the possible variability of droplet sizes in mixed clouds. In the range of air temperatures T in the mixed cloud layer cover of 275 K > T> 250 K, with an increase in the wavelength, it increases and at the maximum and

minimum modal droplet radii these characteristics change up to three times [2]. We note that the variability of the above mentioned integral radiation characteristics of cloud layers with optical thicknesses $1 < \tau < 10$ when using the calculated optical characteristics was about 35% [2].

To remove the uncertainty of the above optical and radiation characteristics, we have corrected the previously proposed microstructure model for the mixed phase cloud layer. The droplet fraction of this cloud layer microstructure is used, depending on T. Taking into account the Wegener-Bergeron-Findeisen mechanism for pumping water vapor from drops to the surface crystals with decreasing temperature, because the saturated vapor pressure over water drops is higher than over ice [3], we assume that the surface of water drops linearly decreases with decreasing temperature, reaching zero values at $T = 250$ K. In this case, the relative concentration of droplets and crystals is considered independent of temperature. This model agrees qualitatively with the well-known Sandquist approximation [4], according to which droplets practically disappear in a mixed cloud at $T = 250$ K.

The values of the optical characteristics of a mixed cloud composition for individual wavelengths of the considered range wavelengths for layers are given in accordance with cloud layer temperature T. Model for the crystalline fraction of the mixed cloud microstructure, previously proposed by us, is used [2]. The dimensions of the crystals in this model remain fixed with T increases, although its sizes should increase due to steam distillation from water droplets. However, if the crystals dimensions are much larger wavelength, while retaining their original shape, the variability of its optical characteristics is insignificant [2].

1. Volkovitsky O.A. et al. Optical properties of crystalline clouds. L.: Gidrometeoizdat. 1984. 198 p.(in Russian)
2. Petrushin A.G. Parameterization of key optical and radiative characteristics of homogeneous layers of mixed phase clouds // Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2016. Vol. 52, No. 3. P. 257–262.
3. Hobbs P.V., Deepak A. Clouds, their formation, optical properties and effects. London: Acad. Press. 1981. 313 p.
4. Sundqvist H. Inclusion of ice phase of hydrometeors in cloud parameterization for mesoscale and largescale models // Beitr. Phys. Atm. 1993. No 66. P. 445–453.

Спектральные и поляризационные исследования микрофизики полярных мезосферных облаков на основе широкоугольной фотометрии и поляриметрии фона сумеречного неба

Угольников О.С.[1] (ougolnikov@gmail.com), Маслов И.А.[1], Козелов Б.В.[2], Ролдугин А.В.[2], Пильгаев С.В.[2], Галкин А.А.[2], Длугач Ж.В.[3]

[1]*Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия*

[2]*Полярный геофизический институт, Академгородок 26а, 184209 Апатиты, Россия*

[3]*Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, ул. Ак. Заболотного 27, 03680 Киев, Украина*

В работе исследуются свойства частиц полярных мезосферных (серебристых) облаков. Ледяные частицы появляются на высотах 80–90 км в период летнего мезосферного похолодания на широтах от 50 градусов. Возрастание частоты появления ярких облаков, их наблюдение на все более низких широтах отражает негативный тренд летней мезосферной температуры, наблюдающийся в последние десятилетия. При давлениях, характерных для летней верхней мезосферы, лед может образоваться при температурах, меньших 150 К. Размер ледяных частиц облаков отражает физические условия вблизи мезопаузы, в частности, ширину слоя, где температура опускается ниже данного значения. В настоящее время микрофизические свойства частиц мезосферных облаков изучаются в ходе удаленного зондирования с борта искусственных спутников Земли и геофизических ракет, а также лидарными методами.

Целью настоящей работы являются измерения размеров частиц на основе более простого эксперимента – фотометрии фона сумеречного неба в период появления облаков с помощью широкоугольных фотографических камер. Характеристики излучения, рассеянного частицами облаков (поляризация, спектральный состав при разных углах рассеяния), зависят от размера частиц. Поляризационные измерения ярких облаков были произведены в

Подмосковье вечером 5 июля 2015 г., многоцветная фотометрия – на станции Ловозеро (Мурманская область) 12 августа 2016 г. Выделение переменной компоненты фона, связанной с облаками, и ее анализ позволили определить средний радиус частиц. Он составляет около 30 нм в предположении логнормального распределения частиц по размерам, характерного для мезосферных облаков. Рассмотрены как сферические, так и несферические частицы. Результаты оказываются в убедительном согласии друг с другом и с результатами более дорогостоящих методов. Показано, что сеть широкоугольных цветных камер, установленных в высоких широтах для мониторинга полярных сияний, может использоваться для получения данных о свойствах мезосферных облаков и их временных трендах.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант №16-05-00170а.

Spectral and polarization study of microphysics of polar mesospheric clouds basing on wide-field photometry and polarimetry of the twilight sky

O.S. Ugolnikov[1] (ougolnikov@gmail.com), I.A. Maslov[1], B.V. Kozelov[2], A.V. Roldugin[2], S.V. Pilgaev[2], A.A. Galkin[2], J.M. Dlugach[3]

[1]*Space Research Institute RAS, 84/32 Profsoyuznaya str., 117997 Moscow, Russia*
[2]*Polar Geophysical Institute, 26 Akademgorodok str., 184209 Apatity, Russia*
[3]*Main Astronomical Observatory NASU, 27 Ak. Zabolotnogo str., 03680 Kyiv, Ukraine*

The properties of particles of polar mesospheric (or noctilucent) clouds are investigated. These clouds appear at altitudes 80–90 km during the summer mesospheric cooling period at latitudes above 50°. Increase of frequency of bright clouds display, their observations at lower latitudes reveal the negative temperature trend of summer mesosphere observed during recent decades. For pressure values typical for upper mesosphere, the ice particles can appear at temperatures below 150 K. The size of ice particles is related with physical properties near mesopause and thickness of the layer where temperature can fall below this value. Microphysical properties of mesospheric cloud particles are now being studied by remote sensing from satellites and geophysical rockets, and also by lidar technique.

The aim of this work is measurement of particle size basing on simple experiment – twilight sky photometry during cloud display by means of wide-field photo cameras. The characteristics of solar radiation scattered by cloud particles (polarization and spectrum at different scattering angles) depend on particle size. Polarization measurements were conducted near Moscow during bright cloud event in the evening of July, 5, 2015, multi-color photometry was performed at Lovozero station (Murmansk district) at August, 12, 2016. Analysis of variable sky component related with clouds allowed finding the mean particle radius, 30 nm, assuming the lognormal particle size distribution typical for mesospheric clouds. Spherical and non-spherical particles were considered. Results are in good agreement with each other and existing methods. The net of color all-sky cameras installed in high latitudes for regular aurora monitoring can be also used for analysis of mesospheric clouds and their trends.

The work is supported by Russian Foundation for Basic Research, grant No.16-05-00170a.

Коротковолновые потоки излучения в облачной атмосфере Земли и континуальное поглощение H_2O

Чеснокова Т.Ю.[1] (ches@iao.ru), Фирсов К.М.[2] (fkm.volsu@mail.ru), Размолов А.А.[2], Ченцов А.В.[1]

[1]*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия*
[2]*Волгоградский государственный университет, Университетский пр. 100, 400062 Волгоград, Россия*

Анализ экспериментальных и модельных данных, представленных в отчетах МГЭИК, свидетельствует, что парниковые газы являются одним из важнейших факторов потепления

климата. Однако отмечаются большие различия в сценариях изменения концентрации парниковых газов и их влияния на прогнозируемую к концу столетия среднюю температуру Земли. Отчасти это связано с несовершенством радиационных моделей. Низкий уровень понимания относится к прямому и косвенному (через образование дополнительной облачности) влиянию аэрозолей и влажности на климат, причем здесь важны региональные особенности.

В данной работе мы проводим анализ влияния континуального поглощения паров H_2O на коротковолновые потоки излучения в двух регионах России. Моделирование потоков осуществлялось для летних метеорологических условий регионов Томской области и Нижнего Поволжья. Характеристики температуры и влажности определялись из данных реанализа NCEP/NCAR. Характеристики облачности определялись из спутниковых данных спектро-радиометра MODIS [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=MODIS_MONTHLY_L3]. При моделировании атмосферного переноса оптические характеристики облачности учитывались при помощи параметризаций [1, 2], используемых в климатических задачах. В расчетах для высот ниже 2 км использовалась городская модель аэрозоля, а для больших высот – фоновая модель аэрозоля с дальностью видимости 50 км [3]. Вычисление коэффициентов поглощения оптического излучения осуществлялось точным методом полинейного счета «line-by-line» с использованием спектроскопической базы параметров линий поглощения атмосферных газов HITRAN2012 с учетом неселективного поглощения атмосферными газами с различными моделями континуума H_2O.

Для оценки влияния различия в современных моделях континуума водяного пара на моделирование переноса солнечного излучения в атмосфере были сделаны расчеты радиационных потоков с использованием моделей континуума H_2O: MT_CKD [http://rtweb.aer.com/continuum_frame.html] и CAVIAR [4, 5]. Были сделаны оценки влияния различий в моделях континуального поглощения водяного пара на потоки солнечного излучения в безоблачной атмосфере для летних месяцев г. Волгограда и Томска для облачных и безоблачных условий. Различие между интегральными нисходящими потоками излучения у поверхности Земли при использовании разных моделей континуума для безоблачной атмосферы для типичных условий Томска составило 2 Вт/м^2, а для Волгограда – 1.4 Вт/м^2. При учете облачности различия в нисходящих потоках за счет моделей континуума уменьшилось до 1 Вт/м^2 для Томска и 0.08 Вт/м^2 для Волгограда, что объясняется большейоптической толщиной перистых облаков в регионе Волгограда согласно среднемесячным значениям для июля 2015 г. по сравнению с Томском. Различие в интегральном радиационном форсинге перистых облаков на верхней границе атмосферы, вычисленном с разными моделями континуума H_2O составляло – 1.5 Вт/м^2 для Томска и – 1.1 Вт/м^2 для Волгограда.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта №16-45-340152 р_а и программы ФНИ государственных академий наук (проект II.10.3.8).

1. De Leon R.R. and J. D. Haigh. Infrared properties of cirrus clouds in climate models // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2007. Vol. 133. P. 273–282.
2. Fu Q., Yang P., Sun W. An Accurate Parameterization of the Infrared Radiative Properties of Cirrus Clouds for Climate Models // Journ. of Climate. 1998. Vol. 11. P. 2223–2237.
3. Kneizys F.X., Robertson D.C., Abreu L.W., et al. The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL / Edited By: Abreu L.W., Anderson G.P. Ontar Corporation. North Andover. USA. 1996. 261 p.
4. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., et al. Water vapor self-continuum absorption in near-infrared windows derived from laboratory measurements // J. Geophys. Res. 2011. Vol. 116. D16305.
5. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., et al. Water vapour foreign continuum absorption in near-infrared windows from laboratory measurements // Phil. Trans. R. Soc. 2012. Vol. 370. P. 2557–2577.

Shortwave radiative fluxes in the cloudy Earth's atmosphere and H_2O continual absorption

T.Yu. Chesnokova[1] (ches@iao.ru), K.M. Firsov[2] (fkm.volsu@mail.ru), A.A. Razmolov[2], A.V. Chentsov[1]

[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia*

[2]*Volgograd State University, 100 Universitetskiy ave., 400062 Volgograd, Russia*

The analysis of experimental and model data, presented in the Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), shows that greenhouse gases are one of the main factors of climate warming. However, large differences in scenarios of greenhouse gases concentration changes and their impact on the predictable average Earth's temperature at the end of the century are noted. It is partly connected with an imperfection of radiative models. Low level of understanding relates to direct and indirect (due to forming of additional cloudiness) influence of aerosols and humidity on the climate, at that the regional features are important.

In this work, we analyse an impact of water vapour continuum absorption on shortwave radiative fluxes in two regions of Russia. The radiative fluxes were simulated for summer meteorological conditions of Tomsk and Low Volga regions. The temperature and humidity are taken from NCEP/NCAR reanalysis data. The cloudiness characteristics are defined from satellite spectroradiometer MODIS data [http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=MODIS_MONTHLY_L3]. The cloud optical characteristics are taken into account in the atmospheric radiative transfer with use of parameterizations [1, 2], which are developed for climate models. The urban model of aerosol is used in the fluxes calculation for altitudes lower than 2 km and background model for altitudes higher 2 km with visibility of 50 km [3]. The absorption coefficients of optical radiance were calculated by the accurate "line-by-line" method with use of absorption line parameters spectroscopic database HITRAN2012 and with taking into account of nonselective absorption of atmospheric gases with different models of water vapour continuum.

To estimate an impact of difference in modern models of water vapour continuum on simulation of the atmospheric transfer of solar radiation, the radiative fluxes were calculated with use of the H_2O continuum models MT_CKD[http://rtweb.aer.com/continuum_frame.html] and CAVIAR [4, 5]. The estimation of influence of discrepancies in the continuum models on the solar radiative fluxes was made for summer months of Volgograd and Tomsk for cloudy and cloudless cases. The differences between integral downward fluxes at the Earth's surface in cloudless atmosphere, calculated with use of different continuum models, were 2 W/m^2 for Tomsk and 1.4 W/m^2 for Volgograd. In cloudy conditions, the differences in downward fluxes due to the continuum models have decreased to 1 W/m^2 for Tomsk and 0.08 W/m^2 for Volgograd that can be explained by larger optical depth of cirrus cloud in Volgograd region in comparison with Tomsk according to the monthly average data for July of 2015. The differences in the radiative forcing of cirrus clouds at the atmosphere top, calculated with different H_2O continuum models, were – 1.5 W/m^2 for Tomsk and – 1.1 W/m^2 for Volgograd.

The research was supported by the RFBR №16-45-340152-p_a, Administration of Volgograd Region and by the Program of Fundamental Scientific Research of Russian Academy of Science, (project II.10.3.8).

1. De Leon R.R. and J. D. Haigh. Infrared properties of cirrus clouds in climate models // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2007. Vol. 133. P. 273–282.
2. Fu Q., Yang P., Sun W. An Accurate Parameterization of the Infrared Radiative Properties of Cirrus Clouds for Climate Models // Journ. of Climate. 1998. Vol. 11. P. 2223–2237.
3. Kneizys F.X., Robertson D.C., Abreu L.W., et al. The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 MODEL / Edited By: Abreu L.W., Anderson G.P. Ontar Corporation. North Andover. USA. 1996. 261 p.
4. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., et al. Water vapor self-continuum absorption in near-infrared windows derived from laboratory measurements // J. Geophys. Res. 2011. Vol. 116. D16305.
5. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., et al. Water vapour foreign continuum absorption in near-infrared windows from laboratory measurements // Phil. Trans. R. Soc. 2012. Vol. 370. P. 2557–2577.

Моделирование спектрально-угловых характеристик полей яркости отраженной солнечной радиации в присутствии разорванной облачности

Насртдинов И.М. (wizard@iao.ru), Журавлева Т.Б., Артюшина А.В., Дучко А.Н.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия

Оперативные алгоритмы, предназначенные для восстановления оптических и микрофизических характеристик облаков и аэрозоля по данным спутниковых измерений солнечной радиации, основаны на решении уравнения переноса излучения в горизонтально-однородной модели атмосферы Земли. При использовании такого приближения предполагается, что радиационные свойства отдельного пикселя не зависят от окружающих его элементов. Вместе с тем, полученные на протяжении двух последних десятилетий результаты показали существенное влияние 3D-эффектов облаков на спектрально-угловые характеристики яркости неба в разорванной облачности и, как следствие, результаты решения обратных задач оптики атмосферы при зондировании из космоса.

В работе представлены результаты моделирования полей яркости неба в УФ, видимом и ближнем ИК диапазонах спектра при «наблюдениях» из космоса как для отдельных облачных полей, так и усредненных по ансамблю реализаций облачности. Алгоритмы метода Монте-Карло реализованы в сферической модели атмосферы (метод сопряженных блужданий). Моделирование реализаций разорванной облачности выполняется с использованием пуассоновской модели; облака аппроксимируются опрокинутыми усеченными параболоидами вращения. Учет молекулярного поглощения основан на приближении функции пропускания коротким рядом экспонент (метод k-distribution). Вычисление средних значений интенсивности выполнено на основе численного усреднения уравнения переноса излучения с учетом рандомизации.

Факторы, определяющие влияние 3D-эффектов облаков на формирование спектрально-угловых характеристик яркости неба, рассмотрены на примере расчетов в видимой области спектра. При появлении на небе изолированного облака поле яркости отраженной радиации зависит от его нахождения/отсутствия на линии визирования (ЛВ), затененностью ЛВ облаками/открытостью направления «на Солнце», а также подсветкой ЛВ отраженной от облака радиацией. Зона влияния облака может кратно превышать его горизонтальные размеры и существенно возрастает с ростом зенитных углов Солнца и детектора. В облачных полях к перечисленным выше 3D эффектам изолированного облака добавляется влияние взаимного затенения и эффектов многократного рассеяния между облаками. Проявление этих эффектов в детерминированной облачности определяется в основном локализацией облаков относительно направления визирования и направления «на Солнце». Зависимость характеристик поля яркости от распределения облачных элементов рассматривается на примере ряда конкретных облачных реализаций. При усреднении по ансамблю облачных полей влияние конфигурации облаков на яркость неба сглаживается, поскольку центры облаков на криволинейном участке сферы моделируются согласно равномерному закону распределения.

В работе представлены изменения средней интенсивности отраженной радиации при вариациях балла облачности, соотношения высоты и диаметра облака, а также условий освещенности. Формирование полей яркости солнечной радиации в УФ, видимой и ближней ИК области спектра (вне полос сильного молекулярного поглощения) определяется одними и теми же закономерностями. Количественные оценки влияния пространственной неоднородности облачности на радиационное поле в различных диапазонах спектра рассматриваются на примере отдельных спектральных интервалов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 16-01-00617).

Simulation of spectral-angular characteristics of radiance fields of reflected solar radiation in broken clouds

I.M. Nasrtdinov (wizard@iao.ru), T.B. Zhuravleva, A.V. Artyushina, A.N. Duchko
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia

Operational algorithms, designed to retrieve the optical and microphysical characteristics of clouds and aerosol according to data of satellite measurements of solar radiation, are based on solution of radiative transfer equation in horizontally homogeneous model of the Earth's atmosphere. When such an approximation is used, it is assumed that the radiative properties of an individual pixel do not depend on surrounding elements. At the same time, the results, obtained during the last two decades, have shown that there is substantial influence of 3D effects of clouds on spectral-angular characteristics of sky radiance in broken clouds and, as a consequence, on results of solution of inverse atmospheric optics problems during sensing from space.

In this work, we present the simulation results of sky radiance fields in UV, visible, and near-IR spectral ranges during «observations» from space both for individual cloud fields, and those averaged over ensemble of cloud realizations. The algorithms of the Monte Carlo method are implemented in the spherical atmospheric model (method of adjoint walks). Cloud realizations are simulated using Poisson model; clouds are approximated by inverted truncated paraboloids of rotation. Molecular absorption is accounted for on the basis of approximation of transmission function by a short exponential series (k-distribution method). Average intensity values were calculated on the basis of numerical averaging of radiative transfer equation taking into account the randomization.

Factors, determining the cloud 3D effects on spectral-angular characteristics of sky radiance, are considered by the example of calculations in the visible spectral region. In the appearance of an isolated cloud in the sky, the radiance field of reflected radiation depends on cloud presence/absence on the line of sight (LS), shading of LS by clouds/non-obscuration of direction «toward the Sun», as well as by illumination of LS by cloud-reflected radiation. The cloud impact zone may exceed several-fold the horizontal cloud sizes and substantially increases with growing solar and detector zenith angles. In cloud fields, the above-mentioned 3D effects of isolated cloud are complemented by the effect of mutual shading and by the effects of multiple scattering between the clouds. The manifestation of these effects in deterministic cloud fields is mainly determined by cloud localization relative to the viewing and «toward the Sun» directions. The dependence of characteristics of radiance field on distribution of cloud elements is considered by the example of a number of specific cloud realizations. In averaging over an ensemble of cloud fields, the effect of cloud configuration on sky radiance is smoothed out because cloud centers on curvilinear section of sphere are simulated according to the uniform distribution law.

In the work, variations in the mean intensity of reflected radiation are presented for different cloud fractions, relationships between cloud height and diameter, as well as illumination conditions. Radiance fields of solar radiation in UV, visible, and near-IR spectral regions (outside strong molecular absorption bands) are determined by the same regularities. Quantitative estimates of how the spatial cloud inhomogeneity influences the radiation field in different spectral ranges are considered by the example of separate spectral intervals.

This work was supported in part by the Russian Fund for Basic Research (the grant no. 16-01-00617).

Рассеяние света на кристаллических частицах перистых облаков в приближении физической оптики

Коношонкин А.В.[1,2] (mgg@iao.ru), Кустова Н.В.[1], Боровой А.Г.[1], Тимофеев Д.Н.[1], Шишко В.А.[1,2]

[1]*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, Томск, Россия*

[2]*Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина 36, Томск, Россия*

Перистые облака играют важную роль в формировании климата планеты. Однако их оптические свойства в настоящее время недостаточно изучены, поскольку не решена задача рассеяния света на образующих эти облака ледяных кристаллических частицах. Это, с одной стороны, затрудняет интерпретацию данных, получаемых лидарами, которые являются основным инструментом наблюдения перистых облаков, с другой стороны, является основным препятствием для построения оптической модели облака. До недавнего времени задача рассеяния света на ледяных кристаллических частицах перистых облаков не поддавалась решению, поскольку точные численные методы, основанные на решении уравнений Максвелла, в данном случае не применимы. Поскольку такие методы (FDTD, DDA и др.) эффективны для решения задачи рассеяния света на частицах, которые меньше длины волны падающего излучения (либо сопоставимы с ней), а атмосферные кристаллические частицы имеют размеры от 10 до 1000 мкм. С другой стороны, решение, полученное в приближении геометрической оптики для кристаллических частиц, содержит сингулярность в направлении рассеяния назад, что не позволяет применять такое решение для интерпретации лидарных данных. Только недавно, разработанный нами метод физической оптики позволил получить решение задачи рассеяния света на ледяных кристаллических частицах, характерных для перистых облаков.

В данном докладе представлено решение задачи рассеяния света на атмосферных ледяных кристаллических частицах в зависимости от их формы, размера и ориентации для трех длин волн: 0.355, 0.532 и 1.064 мкм. Решение получено для гексагональных ледяных пластинок и столбиков, а также дроксталлов и «пуль». Размеры частиц варьировались от 10 до 1000 мкм. Пространственная ориентация кристаллов изменялась от полностью хаотической до преимущественно горизонтальной. Результаты расчетов указывают на существенную зависимость оптических характеристик как от ориентации, так и от типа частицы. Решение задачи рассеяния света представлено в виде банка данных матриц рассеяния света, который также содержит рассчитанные на ее основе лидарное, деполяризационное и спектральной отношения. Результаты численного расчета хорошо согласуются с данными лидарных наблюдений и могут быть использованы для их интерпретации.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (№ 15-05-06100, 16-35-60089), Президента РФ (МК-2495.2017.5, НШ-8199.2016.5) и при поддержке Минобрнауки РФ в рамках «Программы повышения конкурентоспособности ТГУ».

Light scattering on ice crystals of cirrus clouds within the framework of the physical optics approximation

A.V. Konoshonkin[1,2] (mgg@iao.ru), N.V. Kustova[1], A.G. Borovoi[1], D.N. Timofeev[1], V.A. Shishko[1,2]

[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia*

[2]*Tomsk State University, 36 Lenin ave., 634050 Tomsk, Russia*

Cirrus clouds play an important role in the formation of the planet's climate. However, their optical properties are currently studied insufficiently, because the problem of light scattering on ice crystal particles forming these clouds is not solved, yet. This, on the one hand, makes it difficult to interpret the data obtained by lidars, which are the main tools for observing cirrus clouds, on the

other hand, it is the main obstacle to the construction of the optical cloud model. Until recently, the problem of light scattering on ice crystal particles of cirrus clouds remained unsolved since the exact numerical methods based on the solution of Maxwell's equations are not applicable, in this case. Such methods (FDTD, DDA, etc.) are effective for solving the problem of light scattering by particles less, or comparable with the wavelength of the incident radiation, while atmospheric ice particles have sizes from 10 to 1000 μm. On the other hand, the solution obtained within the geometric optics approximation for faceted particles contains a singularity in the backscattering direction, which does not allow to apply this solution to interpret lidar data. Only recently, we have developed the method of the physical optics that allows obtaining the solution of the light scattering problem on ice crystal particles of cirrus clouds.

This paper presents the solution to the light scattering problem by atmospheric ice crystalline particles, depending on their shape, size, and orientation for three wavelengths: 0.355, 0.532 and 1.064 μm. The solution was obtained for hexagonal ice plates and columns, as well as droxtals and bullets. The particle sizes ranged from 10 to 1000 μm. The spatial orientation of the crystals varied from completely random to quasy-horizontal. The results of the calculations indicate a significant dependence of the optical characteristics on both the orientation and the type of particle. The solution of the light scattering problem is presented as a data bank of light scattering matrices, which also contains the lidar, depolarization, and spectral ratios calculated on its basis. The results of numerical calculations are in good agreement with the data of lidar observations and can be used to interpret them.

The work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (15-05-06100, 16-35-60089), President of the Russian Federation (MK-2495.2017.5, NS-8199.2016.5) and with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the program for enhancing the competitiveness of TSU.

Метод дешифрирования облачного покрова по спутниковым данным

Косторная А.А. (kostornaya@rcpod.ru), Захватов М.Г., Пяткин Ф.В., Сахарова Е.Ю.
Сибирский центр НИЦ «Планета», ул. Советская 30, 630099 Новосибирск, Россия

Представлены основные результаты работы по созданию и испытанию методики дешифрирования облачного покрова. Основное назначение методики – идентификация и классификация облачности на космических изображениях с последующим восстановлением количественных характеристик. Методика обеспечивает получение цифровых массивов данных в виде карт классифицированной облачности, высоты (км) и температуры (°C) верхней границы облачности (ВГО) в автоматическом режиме.

С целью определения степени достоверности конечных продуктов методики было проведено несколько оценок качества получаемых информационных продуктов. В ходе проведенных испытаний карты классификации облачности, высоты и температуры ВГО показали способность к обнаружению грозовых ячеек, к отслеживанию их перемещения, развития и трансформации, а также к оценке мощности облачных образований и степени их опасности. Установлены средние значения достоверности конечных продуктов методики: для типов облачности – порядка 97 %, для высоты ВГО – около 80 %. Обнаружены месяцы с наибольшим качеством восстановления параметров облачности (апрель–сентябрь). Выявлена повторяемость ложного детектирования облачности (1.6 % случаев), проведен анализ синоптических условий, при которых методика имеет тенденцию к ложному обнаружению облачности.

Результаты дешифрирования облачного покрова могут использоваться как дополнение данных синоптических и радиолокационных наблюдений в региональных и мезомасштабных схемах численного анализа и прогноза погоды, а также для целей краткосрочного прогноза состояния облачного покрова в метеорологических службах и в аэропортах.

Method of cloudy cover indetification using satellite data

A.A. Kostornaya (kostornaya@rcpod.ru), M.G. Zakhvatov, F.V. Pyatkin, E.Yu. Sakharova
Sibirian Center of SRC "Planeta", 30 Sovetskaya str., 630099 Novosibirsk, Russia

Principal results of the research on developing and testing the cloud detection technology are presented. The main purpose of the technology is the cloud identification and the generation of quantitative cloud products in real-time from the AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) mesurements. The technology provides digital data sets in the form of maps of cloud classification, cloud height (km) and cloud temperature (C) on the top.

The report examines 2 main issues – briefly describes algorithms of cloud detection technology and technology test. Comparisons were made with synoptic data, data accepted from environmental satellite CALIPSO (lidar CALIOP), and with data of the Doppler weather radar "Barabinsk". The accuracies of maps of cloud classification, cloud height and cloud temperature on the top are estimated for different seasons and different types of clouds. Weather conditions leading to the false cloud detection are identified.

It is established that the products of cloud detection technology can be used as a supplement to the synoptic data and weather radar observations, as well as for a short-term forecast of cloud cover in meteorological services and airports.

Кольцевые структуры в обратном рассеянии лазерных импульсов в тонких облачных слоях

Илюшин Я.А.[1,2] (ilyushin@phys.msu.ru)
[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, ГСП-2 Ленинские горы, 119992 Москва, Россия*
[2]*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, ул. Моховая 11-7, 125009 Москва, Россия*

Проведено численное моделирование рассеяния поляризованных лазерных импульсов в тонком облачном слое. Показано, что при определенных условиях в рассеянии может наблюдаться эффект динамического гало обратного рассеяния. Исследованы характеристики поляризации рассеянного излучения.

Несколько лет назад в работах [1–3] было теоретически предсказано появление кольцевого гало в обратно рассеянном излучении светового пучка в мутной среде. Как там было показано, проявление эффекта возможно в средах с сильной анизотропией рассеяния, благодаря многократному малоугловому рассеянию фотонов. В работе [4] показана возможность проявления эффекта в нестационарных (импульсных) световых полях. Как было затем установлено в работе [5], естественные среды большой оптической толщины не удовлетворяют сформулированному там критерию проявления эффекта. Однако, в лидарном зондировании тонких облачных слоев динамический эффект все же был обнаружен экспериментально и исследован теоретически без учета поляризации [6]. В настоящей работе исследованы поляризационные эффекты в рассеянии в таких облачных слоях [7] лазерных импульсов различной поляризации. Моделирование проводилось методом дискретных ординат с гауссовой квадратурной формулой на сфере G29 [8]. Матрицы рассеяния полидисперсных частиц облака рассчитаны методом Т-матриц с помощью общедоступного программного кода [9].

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-02-05476). Авторы благодарят администрацию НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова за предоставленные ресурсы суперкомпьютеров СКИФ-ГРИД "Чебышев" и "Ломоносов" [10].

1. Lewis A.F., M.S. Bell, R.E. Wagner, et al. Dark cone produced by light backscattered off turbid media // Laser Physics. 2003. Vol. 13, No. 2. P. 207–212.
2. Kim Arnold D. and Miguel Moscoso. Backscattering of beams by forward-peaked scattering media // Opt. Lett. 2004. Vol. 29, No. 1. P. 74–76.

3. Campbell S.D., A. K. O'Connell, G. H. Rutherford, and R. Grobe. Impact of large-angle scattering on diffusively backscattered halos // Opt. Lett. 2007. Vol. 32, No. 5. P. 560–562.
4. Phillips K., M. Xu, S. Gayen, and R. Alfano. Time-resolved ring structure of circularly polarized beams backscattered from forward scattering media // Opt. Express. 2005. Vol. 13. P. 7954–7969.
5. Ilyushin Y. Backscattering halo from the beam in the scattering medium with highly forward peaked phase function: is it feasible? // J. Opt. Soc. Am. 2012. Vol. A 29. P. 1986–1991.
6. Prigarin S.M., Aleshina T.V. Monte Carlo simulation of ring-shaped returns for CCD LIDAR systems // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2015. Vol. 30, No. 4. P. 251–257.
7. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М.: Мир, 1971.
8. Лебедев В.И. Квадратурные формулы для сферы 25–29 порядка точности // Сибирский математический журнал. 1977. Т. 18, № 1. С. 132–142.
9. Moroz A. Improvement of Mishchenko's T-matrix code for absorbing particles // Appl. Opt. 2005. Vol.44. P. 3604–3609.
10. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Соболев С.И. и др. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы. М.: Издательский дом "Открытые системы", 2012. 7 с.

Annular structures in the backscattering of the laser pulses in thin cloud layers

Ya.A. Ilyushin[1,2] (ilyushin@phys.msu.ru)
[1]*M.V.Lomonosov Moscow State University, Physical Faculty, 1 Leninsky gory, 119992 Moscow, Russia*
[2]*Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics RAS, 11–7 Mokhovaya str., 125009 Moscow, Russia*

Recently theoretically predicted dynamic backscattering halo appearing around the pencil beam in the scattering medium is studied numerically. Polarization characteristics of the scattered radiation are investigated.

Several years ago in the papers [1–3] the annular halo pattern in the backscattered pencil beam radiation in the scattering medium was theoretically predicted. It has been shown there that manifestation of the effect is possible in the media with very high scattering anisotropy, due to multiple small angle scattering of the photons. In the paper [4] the possibility of this effect in transient radiation fields was demonstrated. Later in the paper [5] has been established that natural bulk scattering media do not satisfy the criterion of the effect formulated there. However, the dynamic effect has been experimentally observed and theoretically analyzed without the polarization effects account [6]. In the present paper, polarization effects in such cloud layers are investigated and analyzed for the c3 cloud model [7].

Research has been supported by the Russian fundamental research fund (project 15-02-05476). The author is grateful to the administration of the Scientific Research Computing Center of the Moscow State University for granting the access to the computational resources of the parallel computing systems SKIF-GRID "Tchshebyshev" and "Lomonosov".

1. Lewis A.F., M.S. Bell, R.E. Wagner, et al. Dark cone produced by light backscattered off turbid media // Laser Physics. 2003. Vol. 13, No. 2. P. 207–212.
2. Kim Arnold D. and Miguel Moscoso. Backscattering of beams by forward-peaked scattering media // Opt. Lett. 2004. Vol. 29, No. 1. P. 74–76.
3. Campbell S.D., A. K. O'Connell, G. H. Rutherford, and R. Grobe. Impact of large-angle scattering on diffusively backscattered halos // Opt. Lett. 2007. Vol. 32, No. 5. P. 560–562.
4. Phillips K., M. Xu, S. Gayen, and R. Alfano. Time-resolved ring structure of circularly polarized beams backscattered from forward scattering media // Opt. Express. 2005. Vol. 13. P. 7954–7969.
5. Ilyushin Y. Backscattering halo from the beam in the scattering medium with highly forward peaked phase function: is it feasible? // J. Opt. Soc. Am. 2012. Vol. A 29. P. 1986–1991.
6. Prigarin S.M., Aleshina T.V. Monte Carlo simulation of ring-shaped returns for CCD LIDAR systems // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2015. Vol. 30, No. 4. P. 251–257.
7. Deirmenjian D. Electromagnetic scattering on spherical polydispersions. New York: American Elsevier Publishing Company, 1969.
8. Lebedev V.I. Quadrature formulas for Quadrature formulas of 25–29 orders of accuracy for the sphere // Siberian Math. J. 1977. Vol. 18, No. 1. P. 132–142.
9. Moroz A. Improvement of Mishchenko's T-matrix code for absorbing particles // Appl. Opt. 2005. Vol.44. P. 3604–3609.

10. Voevodin Vl.V., Zhumatiy S.A., Sobolev S.I., et al. Practice of a supercomputer “Lomonosov” // M.: Publ. Comp. "Open Systems". 2012. 7 pp.

Теоретическое и экспериментальное исследование ансамбля конвективных термиков

Вульфсон А.Н.[1] (vulfson@ipng.ru), Бородин О.О.[1], Черенкова Е.П.[2]
[1]*Институт проблем нефти и газа РАН, ул. Губкина 3, 119333 Москва, Россия*
[2]*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия*

Известно, что тонкая структура конвективного слоя атмосферы определяется системой плавучих термиков. В условиях свободной и вынужденной конвекции плавучие термики осуществляют перенос тепла и импульса в атмосфере. Конвективные термики реализуют перенос влаги в атмосфере и формируют поля конвективной облачности. Ансамбль конвективных термиков играет весьма существенную роль в процессах переноса атмосферного аэрозоля.

В настоящей работе обсуждаются некоторые вопросы теории обработки данных, связанных с системой термиков. Изложен упрощённый геометрический подход, позволяющий определить средние параметры системы термиков по измерениям вдоль линии наблюдения. Предложена вероятностная модель ансамбля конвективных термиков. Для изолированного термика построено динамическое уравнение, учитывающее его взаимодействие с окружающей средой. Для системы термиков построено стохастическое уравнение Ланжевена, подобное уравнению ансамбля «быстрых» броуновских частиц. Нелинейное уравнение Ланжевена системы термиков приводит к ассоциированной кинетической форме уравнения Фоккера-Планка. Показано, что стационарное решение кинетического уравнения Фоккера–Планка имеет форму распределения Максвелла и аппроксимирует экспериментально наблюдаемые распределения в турбулентном конвективном слое атмосферы.

Экспериментально наблюдаемое распределение Максвелла по скоростям в системе восходящих потоков позволяет рассматривать систему конвективных термиков как ансамбль «быстрых» броуновских частиц. Последовательное развитие такого кинетического подхода открывает новые возможности при описании моментов турбулентного конвективного слоя. Теоретическое построение одномерного распределения Максвелла в системе восходящих конвективных потоков, убедительно демонстрирует возможность конструктивного использования методов физической кинетики для описания не «термодинамических» стохастических систем, т.е. систем, не связанных с термостатом.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-05-068491-а.

Theoretical and experimental research of the ensemble of convective thermals

A.N. Vulfson[1] (vulfson@ipng.ru), O.O. Borodin[1], E.P. Cherenkova[2]
[1]*Oil and Gas Research Institute RAS, 3 Gubkin str., 117701 Moscow, Russia*
[2]*P.N. Lebedev Physical Institute RAS, 53 Leninskiy pr., 119991, Moscow, Russia*

It is known, that the fine structure of the convective layer of the atmosphere is determined by a system of buoyancy thermals. Under conditions of free and forced convection, buoyancy thermals transfer the heat and moments in the atmosphere. Convective thermals realize the transfer of moisture in the atmosphere and form the fields of convective clouds. The ensemble of convective thermals plays an important role in the processes of atmospheric aerosol transport.

In this paper, we discuss some problems in the theory of data processing associated with the thermal system. The system of thermals that makes the fine structure of a turbulent convective layer of a fluid is considered. A simplified geometrical approach is outlined that uses measurements along the observation line to determine the average parameters of this system. A dynamic equation

for an isolated thermal interacting with its environment is derived. A Langevin equation similar to the stochastic equation for an ensemble of "fast" Brownian particles is constructed for a system of thermals. The nonlinear Langevin equation for such a system leads to the associated kinetic form of the Fokker–Planck equation. It is shown, that the stationary solution of the kinetic Fokker–Planck equation is identical to the Maxwell distribution and approximately consistent with the distributions measured in the turbulent convective layer of the atmosphere.

The experimentally observed Maxwell velocity distribution in a system of updrafts allows treating the system of convective thermals as an ensemble of “fast” Brownian particles. The rigorous development of such a kinetic approach opens up new possibilities for the description of moments of the turbulent convective layer. The theoretical derivation of the one-dimensional Maxwell distribution for a system of convective updrafts convincingly demonstrates the possibility of constructively using physical kinetics methods to describe non-«thermodynamical» stochastic systems, i.e., systems that are not connected to a thermostat.

The work was supported by the grant 15-05006849-a from the Russian Foundation for Basic Research.

Перенос вулканического аэрозоля и лидарные наблюдения в Западной Сибири в 2008–2016 годах

Черемисин А.А.[1,2] (aacheremisin@gmail.com), Маричев В.Н.[3], Новиков П.В.[2]

[1]*Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 79, 660041 Красноярск, Россия*

[2]*Красноярский институт железнодорожного транспорта, ул. Ладо Кецховели 89, 660028 Красноярск, Россия*

[3]*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия*

С 2006 по 2011 год в Северном полушарии наблюдался целый ряд извержений, когда вулканические выбросы достигали стратосферных высот. В связи с важностью исследования воздействия извержений вулканов на атмосферу и климатические изменения в настоящее время продолжается анализ данных наблюдений. Нами был проведен анализ извержений ряда вулканов Алеутской гряды – Касаточи, Кливленд, Окмок в 2008 г., Сарычев в 2009 г., Эйяфьядлайёкюдль в 2010 г., Гримсвотн и Набро в 2011 г.. Наблюдения проводились на лидарной станции высотного зондирования атмосферы Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН В Томске. Измерения проводились методом упругого рассеяния на длине волны $\lambda = 532$ нм. Для приема сигнала использовался телескоп системы Ньютона с диаметром главного зеркала один метр и высокочувствительные фотоприемные устройства, работающие в режиме счета фотонов.

Для анализа происхождения зарегистрированного аэрозоля были рассчитаны изоэнтропийные траектории движения воздушных масс, начальные точки которых располагались на различных высотах над вулканами в моменты их извержений. Траектории были получены с помощью разработанного нами пакета компьютерных программ с использованием ассимилированных данных UK MetOffice по скоростям ветра в Северном полушарии, а также с помощью пакета HYSPLIT по данным GDAS. Данная методика показала хорошие результаты при исследовании динамики полярных стратосферных облаков в 2010 и 2016 годах. Перенос вулканического аэрозоля первично определяется горизонтальным переносом воздушных масс.

Лидарные наблюдения аэрозоля в стратосфере над Томском показали также наличие слабого диффузного пика рассеяния на высотах 16–18 км в теплое время года с мая по сентябрь в 2008–2011 гг. Этот слой отсутствовал в пределах погрешности измерений в 2012–2016 годах. Траекторный анализ показал, что максимум аэрозольного рассеяния в стратосфере над Томском соответствует переносу воздушных масс из тропического резервуара стратосферного аэрозоля [1], с высот 20–21 км. Поэтому наблюдаемые пики аэрозоля на 16–18 км над Томском могут быть связаны с глобальной циркуляцией вулканического аэрозоля, его накоплением в тропическом стратосферном резервуаре и

последующим переносом в северные широты, сопровождающимся постепенным уменьшением его содержания в стратосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00907а). Авторы благодарны Метеослужбе Великобритании (UK Met Office) за предоставленные данные.

1. Hitchman M. H., McKay M., and Trepte C.R. A climatology of stratospheric aerosol // J. Geophys. Res. 1994. Vol. 99, No D10. P. 20,689–20,700.

Volcanic aerosol transfer and lidar observations in Western Siberia in 2008–2016

A.A. Cheremisin[1,2] (aacheremisin@gmail.com), V.N. Marichev[3], P.V. Novikov[2]

[1]*Siberian Federal University, 79 Svobodny ave., 660041 Krasnoyarsk, Russia*

[2]*Krasnoyarsk Railway Institute, 89 Lado Ketskhoveli str., 660028 Krasnoyarsk, Russia*

[3]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ak. Zuev sq., 634055 Tomsk, Russia*

A number of volcanic eruptions were observed in the Equatorial Zone and Northern Hemisphere from 2006 to 2011, when the volcanic emissions reached up to the stratospheric altitudes. It is important to study an impact of volcanic eruptions on the atmosphere and climate change, therefore an analysis of the observations data is ongoing. We analyzed the effects of the volcano eruptions of the Aleutian Chain Islands – Kasatochi, Cleveland, and Okmok in 2008, Sarychev in 2009, Eyjafjallajökull in 2010, Grimsvotn and Nabro in 2011. The observations were carried out at the high-altitude atmosphere sounding lidar station of the V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of SB RAS in Tomsk by the method of elastic scattering at the 532 nm wavelength. The Newton telescope with the main mirror of one meter in diameter and highly sensitive photodetectors operating in the photon counting mode were used to receive the signal.

The isentropic trajectories of the air masses motion were calculated with the initial points located at different altitudes above the volcanoes at the time of their eruptions, in order to analyze the origin of the registered aerosol. The trajectories were obtained with the help of a computer program package developed by our research group using the UK MetOffice assimilated data on wind velocity in the Atmosphere, as well as the HYSPLIT package and GDAS data. This technique has shown good results in the study of the polar stratospheric clouds dynamics in 2010 and 2016. The transfer of volcanic aerosol after eruptions is primarily determined by the horizontal transfer of air masses.

The lidar observations of the aerosol in the stratosphere above Tomsk have also shown the presence of a weak diffuse scattering peak at altitudes of 16–18 km in the warm season from May to September in 2008–2011. This layer was absent within the measurement error in 2012–2016. The trajectory analysis showed that a maximum of aerosol scattering in the stratosphere above Tomsk corresponds to the transfer of air masses from a tropical stratospheric aerosol reservoir [1] from the altitudes of 20–21 km. Therefore, the observed aerosol peak at 16–18 km above Tomsk may be associated with the global circulation of volcanic aerosol, its accumulation in the tropical stratospheric reservoir and transfer to northern latitudes, accompanied by a gradual decrease in its content in the stratosphere.

This work is implemented with financial support of RFBR (project 13-05-01036a). Authors are grateful to UK Meteorological office for provided data.

1. Hitchman M. H., McKay M., and Trepte C.R. A climatology of stratospheric aerosol // J. Geophys. Res. 1994. Vol. 99, No D10. P. 20,689–20,700.

Совместное восстановление микрофизических характеристик аэрозоля по лидарным измерениям

Самойлова С.В. (ssv@seversk.tomsknet.ru), Пеннер И.Э., Коханенко Г.П., Балин Ю.С.
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия

Совместное определение комплексного показателя преломления (ПП, m) и функции распределения аэрозольных частиц по размерам (ФР, $U(r)$) является одной из принципиальных задач при исследовании атмосферы оптическими методами. Существуют две серьезные проблемы их восстановления: 1) смещенная оценка параметров ФР и 2) неоднозначность определения самого ПП. Первая проблема частично разрешена: определение $U(r)$ сводится к обращению системы линейных алгебраических уравнений; мелкодисперсная фракция неплохо восстанавливается при любой матрице регуляризации, а грубодисперсная, к сожалению, нет. Метод статистической регуляризации [1] дает явное выражение для стабилизатора, что позволяет однозначно оценить функцию распределения и для мелких, и для крупных частиц, до 3 мкм точно, выше 3 мкм правдоподобно. Вторая проблема обусловлена нелинейной связью между показателем преломления (ядро уравнений Фредгольма слева) и оптическими коэффициентами (правая часть уравнений Фредгольма). В общем виде оценивание m сводится к минимизации функционала невязки на плоскости всех возможных значений действительной m_{real} и мнимой m_{image} частей.

Используемый метод обеспечивает определение ПП без каких-либо линейных предположений, как, например, в итерационном алгоритме [2]. Заданному (измеренному) набору оптических коэффициентов соответствует некоторая область минимумов на плоскости (m_{real}, m_{image}). Область является линией, на которой различным m соответствует одна $U(r)$. Соответственно, в задаче оценки показателя преломления отсутствует единственность, и само решение неоднозначно. Подчеркнем, что имеется в виду неоднозначность показателя, а не функции распределения. Для слабопоглощающих частиц область минимумов расположена вдоль оси мнимой части, и неоднозначность проявляется только для m_{image} С увеличением поглощения точность оценивания мнимой части улучшается, а действительной ухудшается. Для сильнопоглощающих частиц область находится вдоль оси m_{real}, и ее оценивание не представляется возможным. Получение единственного и реального m обеспечивает объединение нескольких различных функционалов невязки [3].

В докладе будет представлен анализ совместного определения микрофизических характеристик по данным численного моделирования, а также приведены результаты восстановления ПП+ФР по лидарным измерениям пограничного слоя и средней тропосферы многочастотным лидаром "ЛОЗА-С" в Томске.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант N 16-48-700307).

1. Samoilova S.V., Sviridenkov M.A., and Penner I.E. Retrieval of the particle size distribution function from the data of lidar sensing under the assumption of known refractive index // Appl. Opt. 2016. Vol. 55, No 28. P. 8022–8029.
2. Dubovik O. and King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosoloptical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. 2000. Vol. 105, No D16. P. 20673–20696.
3. Samoilova S.V., Sviridenkov M.A., and Penner I.E. Joint retrieval of the microphysical characteristics, the complex refractive index and the particle size distribution function from the data of lidar measurements // Appl. Opt. 2017 (в печати).

Joint retrieval of the aerosol microphysical characteristics from the data of multi-wavelength lidar sensing

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

Joint retrieval of the complex refractive index (CRI, m) and the aerosol particle size distribution (PSD, $U(r)$) is one of the principal problems in the study of atmospheric aerosol by

optical methods. There are two serious problems in their retrieval: 1) biased estimate of the PSD parameters and 2) ambiguity in determining CRI. The first problem is partially solved: determination of $U(r)$ is reduced to inverting the system of linear algebraic equations. The fine fraction is well retrieved at any regularization matrix, but the coarse fraction, unfortunately, is not. The method of statistical regularization [1] provides for an explicit expression for the stabilizer, that allows estimating the single distribution function for both fine and coarse particles, exactly for particles less than 3 μm and plausibly for particles greater than 3 μm. The second problem is caused by non-linear relation between the refractive index (left part of the Fredholm's equation kernel) and the optical coefficients (right part of the Fredholm's equation). In general form, estimation of m is reduced to minimization of the functional of discrepancy on the plane of all possible values of the real m_{real} and imaginary m_{image} parts.

The applied method provides for determination of CRI without any linear assumptions as, for example, in the iterative algorithm [2]. An area of minima on the plane (m_{real}, m_{image}) corresponds to the prescribed (measured) set of the optical coefficients. The area looks like a line, on which the same $U(r)$ corresponds to different m. Hence, there is no uniqueness in estimation of the refractive index. Let us emphasize that we mean here ambiguity of the refractive index, but not of the distribution function. The area of minima for weakly absorbing particles is located along the imaginary part axis, and ambiguity is observed only for m_{image}. As absorption increases, the accuracy of estimation of the imaginary part becomes better, and for the real part it becomes worse. The area of minima for strongly absorbing particles is located along the m_{real} axis, and it seems impossible to estimate it. Combination of several different functionals of discrepancy provides for obtaining of a single and real m [3].

The report will present an analysis of the joint determination of microphysical characteristics from the data of numerical modeling, as well as the results of retrieval of CRI+PSD from lidar measurements in the planetary boundary layer and the middle troposphere by multi-wavelength lidar "LOSA-S" in Tomsk.

The work was supported in part by Russian Foundation for Basic Research under grant No 16-48-700307.

1. Samoilova S.V., Sviridenkov M.A., and Penner I.E. Retrieval of the particle size distribution function from the data of lidar sensing under the assumption of known refractive index // Appl. Opt. 2016. Vol. 55, No 28. P. 8022–8029.
2. Dubovik O. and King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosoloptical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. 2000. Vol. 105, No D16. P. 20673–20696.
3. Samoilova S.V., Sviridenkov M.A., and Penner I.E. Joint retrieval of the microphysical characteristics, the complex refractive index and the particle size distribution function from the data of lidar measurements // Appl. Opt. 2017 (in press).

Коричневый углерод в задымленной атмосфере

Горчаков Г.И.[1] (gengor@ifaran.ru), Карпов А.В.[1], Семутникова Е.Г.[2]
[1]*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия*
[2]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1, 119234 Москва, Россия*

Задымление приводит к существенному изменению радиационного режима атмосферы. При оценке радиационных эффектов дымового аэрозоля (ДА) необходимо знать его поглощательную способность, которая в значительной степени определяется содержанием черного углерода (BC) в частицах ДА. В работе [1] показано, что заметный вклад в поглощение аэрозолем солнечной радиации могут вносить поглощающие свет органические соединения или коричневый углерод (BrC), который отличается селективностью поглощения. Согласно данным AERONET присутствие Br в частицах ДА приводит к повышенным значениям мнимой части коэффициента преломления вещества частиц ДА на длине волны 440 нм.

Анализ данных AERONET показал, что BrC сравнительно часто обнаруживается в дымах, возникающих при массовых пожарах в бореальных лесах [2], а также в смогах мегаполисов. Спектры поглощения ДА при пожарах в бореальных лесах во многих случаях с удовлетворительной точностью аппроксимируются либо степенными функциями, либо экспонентами. Показано, что в области спектра 440–1020 нм определяющий вклад в радиационные характеристики ДА, возникающего при пожарах в бореальных лесах России и Канады, вносит его тонкодисперсная фракция.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 14-47-00049).

1. Feng Y., Ramanthan V., Katamarthi V.R. Brown carbon: a significant atmospheric absorber of solar radiation? // Atmos. Chem. Phys. 2013. Vol. 13. P. 8607–8621.
2. Горчаков Г. И., Васильев А. В., Веричев К. С. и др. Тонкодисперсный коричневый углерод в задымлённой атмосфере // Доклады АН. 2016. Т. 471, № 1. С. 91–97.

Brown carbon in smoky atmosphere

G.I. Gorchakov[1] (gengor@ifaran.ru), A.V. Karpov[1], E.G. Semoutnikova[2]
[1]A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia
[2]M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninsky gory, 119234 Moscow, Russia

Radiative regime of the atmosphere varies drastically change during smoke haze. When evaluating radiative impact of the smoke aerosol (SA) it is necessary know his absorption ability which determined appreciably by black carbon (BC) content in particles of SA. It is shown that the pronounced contribution to solar radiation absorption of aerosol can introduce absorbing light organic compounds or brown carbon (BrC) which differs in selective absorption [1]. According to AERONET data the availability of BrC in SA particles brings to increased values imaginary part of index refraction for SA particles at wavelength 440 nm.

AERONET data analysis has shown that BrC is detected frequently in smokes which appear during large-scale fires in boreal forests [2] and also in megacity smokes. Absorption spectra of SA during boreal forests fires frequently can be approximated with satisfactory accuracy by exponents or power functions. It is shown that, in the 440–1020 nm spectral range, the crucial contribution in radiative characteristics of the SA appearing during fires in boreal forests of Russia and Canada gives its fine mode.

This work is supported by Russian Science Foundation (grant № 14-14-00049).

1. Feng Y., Ramanthan V., Katamarthi V.R. Brown carbon: a significant atmospheric absorber of solar radiation? // Atmos. Chem. Phys. 2013. Vol. 13. P. 8607–8621.
2. Gorchakov G.I., Vasiliev A.V., Verichev K.S., et al. Finely Dispersed Brown Carbon in a Smoky Atmosphere // Doklady Earth Sciences. 2016. Vol. 471, № 1. P. 1158–1163.

Линейные аппроксимации для расчета характеристик солнечной радиации

Новиков С.С.[1] (ssn2694ssn@mail.ru), Мельникова И.Н.[2] (i.melnikova@spbu.ru)
[1]Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, РЦ «Обсерватория экологической безопасности», Университетская наб. 7/9, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Доклад посвящен исследованию зависимостей характеристик солнечной радиации от оптических параметров атмосферы земли. В статье приведены результаты для отраженного и пропущенного атмосферой полусферических потоков, лучистого притока, и вклада разных порядков рассеяния в безоблачной и облачной атмосфере. Предложены простые, в большинстве случаев линейные аппроксимации зависимостей характеристик солнечной радиации, полученных для ряда значений оптических параметров однородной атмосферы, альбедо подстилающей поверхности и зенитных углов солнца. Рассмотрены случаи слабого

и сильного поглощения. Оптическая толщина изменялась от 0.2 до 15, охватывая, таким образом, как чистую безоблачную, так и облачную атмосферу.

Исследуемые зависимости рассчитаны с применением 4-х методов теории переноса: приближение однократного рассеяния, метод Эддингтона, метод Монте-Карло и метод асимптотических формул. Выявлены значения оптических параметров, для которых упомянутые зависимости хорошо описываются линейными функциями. Предложенные линейные регрессии позволяют простую и быструю оценку радиационных характеристик в технических задачах (для расчета локальных радиационных форсингов, при выборе типов солнечных батарей, расчете теплового режима домов, учете нагревания почвы солнечной радиацией в сельскохозяйственных прогнозах), при осуществлении интегрирования потоков по зенитному углу солнца, а также для восстановления оптических параметров атмосферы и поверхности при решении обратных задач дистанционного зондирования. Результаты представлены в относительных единицах потока солнечной радиации на верхней границе атмосферы. Для получения значений радиационных характеристик в абсолютных энергетических единицах представленные значения необходимо умножить на значение внеатмосферного солнечного потока и на косинус зенитного угла солнца.

Работа выполнена с использованием оборудования Ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» Научного парка СПбГУ при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-55-00131 Бел_а – Загрязнения и нагрев атмосферы над мегаполисом на основе моделирования переноса излучения и данных дистанционного зондирования».

Linear approximations for calculating characteristics of solar radiation

Sergey Novikov[1] (ssn2694ssn@mail.ru), Irina Melnikova[2] (i.melnikova@spbu.ru)
[1]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky, 195196 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*Saint-Petersburg State University, Research Park, Resource Center "Observatory for Ecological safety", 7/9 Universitetskaya nab., 199034 Saint-Petersburg, Russia*

The report is devoted to the studying the dependence of the solar radiation characteristics from the optical parameters of the Earth's atmosphere. The results for the reflected and transmitted hemispherical fluxes in the atmosphere, the radiative divergence, and the contribution of different scattering orders to the radiation field in the cloudless and cloudy cases are presented in the report. Simple, in most cases, linear approximations of the dependences of the solar radiation characteristics obtained for a set of values of the optical parameters in a homogeneous atmosphere, the surface albedo, and the solar zenith angles are proposed. The cases of weak and strong absorption are considered. The optical thickness varied from 0.2 to 15, thus covering both the clear cloudless and cloudy atmosphere.

The dependences studied are calculated using four methods of the transfer theory: the single-scattering approximation, the Eddington method, the Monte Carlo method, and the asymptotic formulas. The proposed linear regressions make it possible to accomplish a simple and rapid assessment of radiation characteristics in technical problems (for calculating local radiative forcing, selecting solar cell types, calculating the thermal conditions of houses, taking into account the heating of the soil by solar radiation in agricultural forecasts), integrating fluxes over solar zenith angle, and also to retrieve the atmosphere and the surface optical parameters when solving remote sensing inverse problems. The results are presented in relative units of the flux of solar radiation at the atmosphere top. To obtain the values of radiation characteristics in absolute energy units, the values presented must be multiplied by the incident solar flux and by the cosine of the solar zenith angle.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 16-55-00131 Bel_a – Pollution and warming of the atmospheric above a megapolis on the base of radiation transfer modelling and remote sensing data and it is done with the equipment of the Resources Centre "Observatory of Environmental Safety" of Research Park, St. Petersburg State University.

Исследование поля солнечной радиации на основе оптических параметров, полученных из лидарного зондирования атмосферы

Мельникова И.Н.[1] (i.melnikova@spbu.ru), Самуленков Д.А.[1], Сапунов М.В.[1], Хужиахметов Э.[1], Кузнецов А.Д.[2] (kuznetsov1946@inbox.ru)

[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, РЦ «Обсерватория экологической безопасности», Университетская наб. 7/9, 199034 Санкт-Петербург, Россия*

2Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Для расчетов характеристик солнечной радиации в атмосфере (лучистого притока тепла, пропущенного и отраженного потоков радиации, скорости нагревания и радиационного форсинга) была построена оптическая модель атмосферы на основе результатов Ресурсного Центра «Обсерватория экологической безопасности» Научного Парка СПбГУ в центре Санкт-Петербурга на Васильевском острове. Вертикальные профили коэффициентов ослабления и обратного рассеяния, распределения частиц по размерам, комплексного показателя преломления были получены из лидарного зондирования атмосферы в 2014–2015. Высота лидарного зондирования атмосферных аэрозолей достигает тропопаузы. Наблюдения выполнялись в дневное и ночное время при ясном небе или в условиях разорванной облачности. В дополнение к лидарным результатам были привлечены актинометрические данные и данные аэрологического зондирования в п. Воейково (профили температуры и влажности).

Было также проведено сравнение результатов лидарных измерений и данных станций AERONET на ближайших станциях к Санкт-Петербургу. Свойства атмосферных аэрозолей в большой степени влияют на оптику и микрофизику облачности, включая влагосодержание. Расчеты характеристик солнечной радиации проводились по методу Эддингтона. Полученные значения пропущенного атмосферой потока солнечной радиации сравнивались с актинометрическими данными и показаниями станций AERONET.

Работа была выполнена с использованием оборудования Ресурсного центра "Обсерватория экологической безопасности" Научного парка СПбГУ и в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» (Соглашение №14.586.21.0023, уникальный идентификатор проекта RFMEFI58615X0023).

Study of the solar radiation field on the base of optical parameters obtained from atmospheric lidar sounding

Irina Melnikova[1] (i.melnikova@spbu.ru), Dmitry Samulenkov[1], Maxim Sapunov[1], Edward Huzhiahmetov[1], Anatoly Kuznetsov[2] (kuznetsov1946@inbox.ru)

[1]*Saint-Petersburg State University, Research Park, Resource Center “Observatory for Ecological safety”, 7/9 Universitetskaya nab., 199034 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky ave., 195196 Saint-Petersburg, Russia*

To calculate characteristics of solar radiation in the atmosphere (radiative divergence, transferred and reflected radiation fluxes, heating rates and radiation forcings) an optical model of the real atmosphere was constructed on the basis of results of the Resource Center "Observatory of Ecological Safety" of the SPbU Research Park in the centre of St. Petersburg on Vasilievsky Island. Vertical profiles of extinction and backscattering coefficients, particle size distributions, complex refractive index were obtained from lidar sounding of the atmosphere in 2014–2015. The height of lidar sounding of atmospheric aerosols reaches the tropopause. Observations were carried out during the day and night time with a clear sky or in conditions of broken clouds. In addition to lidar results, actinometrical data and upper-air sounding data in the Voeikovo station (temperature and humidity profiles) were invoked.

The results of lidar measurements and data of AERONET stations at the nearest stations to St. Petersburg were also compared. The properties of atmospheric aerosols to a large extent affect the optics and microphysics of cloudiness, including moisture content. Calculations of the

characteristics of solar radiation were carried out by the Eddington method. The obtained values of the solar radiation flux transmitted through the atmosphere were compared with actinometrical data and results of the AERONET stations.

The study is accomplished in the frames of Federal Target Program "Research and development on priority directions of development of scientific-technological complex of Russia for 2014–2020" (Agreement No. 14.586.21.0023).

Модельные оценки параметров сальтации

Карпов А.В. (karpov@ifaran.ru), Гущин Р.А., Даценко О.И.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Модель переноса сальтирующих песчинок в ветропесчаном потоке [1] позволила решить ряд задач динамики сальтирующих песчинок. С помощью более полной модели получены оценки влияния на перенос сальтирующих песчинок подъемной силы, силы Сэфмана и электрической силы [2]. В нашей работе представлена модель, позволяющая оценивать соотношения между скоростью сальтирующих песчинок и скоростью ветра [3]. С использованием этой модели были определены коэффициенты скольжения песчинок (отношение средней скорости сальтирующей песчинки к средней скорости ветра) с размерами 100 и 250 мкм как функции модуля скорости и угла вылета песчинок, а также динамической скорости. Результаты расчетов для песчинок с размером 250 мкм сопоставлены с данными лабораторных экспериментов [4]. Показано, что максимальные значения коэффициента скольжения достигаются при малых углах вылета, что обусловлено минимальными затратами энергии ветра на разгон сальтирующих песчинок.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 14-05-00523 и 16-35-00467).

1. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М. и др. Исследование динамики сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Доклады АН. 2013. Т. 452, № 1. С. 669–676.
2. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М. и др. Влияние силы Сэфмана, подъемной силы и электрической силы на перенос частиц в ветропесчаном потоке // Доклады АН. 2016. Т. 467, № 3. С. 336–341.
3. Карпов А.В., Гущин Р.А., Даценко О.И. Анализ вариаций скорости переноса сальтирующих песчинок // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т.30, № 3. С. 227–232.
4. Rasmussen K., Sorensen M. Vertical variation of particle speed and flux density in aeolian saltation: Measurement and modeling // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113, F02S12. 12 p.

Model assessment of saltation parameters

A.V. Karpov (karpov@ifaran.ru), R.A. Gushchin, O.I. Datsenko
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhyovskiy per., 119017 Moscow, Russia

Transfer model of saltating sand in windsand flux permits to solve a number of problems in the field of saltating sand grain dynamics [1].The estimates of influence lift force, Saffman force and ellectric force on saltating sand transfer has been obtained [2]. Model which permits to evaluate relationship between wind velocity and sand grain velocity has been obtained [3]. Using this model slipping coefficients of sand grains (ratio of average velocity of saltating sand grain to average velocity of wind) with 100–250 μm in diameter were determined as functions of the speed module and the lift-of angle of sand grains, and also dynamic velocity. Calculation results for sand grains with 250 μm in diameter were correlated with laboratory experiment data [4]. It is shown that maximum value of slipping coefficient is achieved for small angle lift-of thanks to the minimum expenses of wind energy on saltating sand grain acceleration.

This work is supported by RFBR (grants № 14-05-00523 и 16-35-00467).

1. Gorchakov G.I., A.V. Karpov, V.M. Kopeikin, et al. Study of the dynamics of saltating sand grains over desertified territories // Dokl. Earth Sci. 2013. Vol. 452, № 2. P. 1067–1073.
2. Gorchakov G.I., A.V. Karpov, V.M. Kopeikin, et al. Influence of the Saffman Force, Lift Force, and Electric Force on Sand Grain Transport in a Wind–Sand Flow // Dokl. Earth Sci. 2016. Vol. 467, № 1. P. 314–319 (2016)

3. Karpov A.V., R.A. Gushchin, O.I. Datsenko. The analysis of variations in the saltating sand transfer velocity. Opt. Atmos. Okeana. 2017. Vol. 30, №3. P. 228–232 (in Russian).
4. Rasmussen K., Sorensen M. Vertical variation of particle speed and flux density in aeolian saltation: Measurement and modeling // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113, F02S12. 12 p.

Saharan dust as a causal factor of significant cloud cover along the Saharan air layer in the tropical Atlantic Ocean

Pavel Kishcha[1] (pavel@cyclone.tau.ac.il), Boris Starobinets[1], Arlindo Da Silva[2], Pinhas Alpert[1]
[1]*School of Geosciences, Tel-Aviv University, P.O. Box 39040, 6997801 Tel Aviv, Israel*
[2]*NASA Goddard Space Flight Center, Mail Code 130 Greenbelt, MD 20771, USA*

In the summer months, dust intrusions from the Sahara into the tropical Atlantic (30° N–30° S) contribute to significant cloud cover up to 0.8–0.9 along the Saharan Air Layer (SAL). The area of SAL with significant cloud fraction (CF) is characterized by limited precipitation, indicating that shallow clouds along the SAL are not developed enough [1]. This study is based on MODIS cloud fraction data and NASA MERRAero aerosol reanalysis data during a 10-year period from July 2002 to June 2012. To explain the observed significant cloud cover up to 0.8–0.9 along SAL, a plausible physical mechanism has been suggested: it is based on the indirect effect of Saharan dust on stratocumulus clouds below the temperature inversion under the base of SAL with the assistance of settling Saharan dust particles [2, 3]. The above-mentioned significant CF in the area of SAL, together with clouds over the Atlantic Inter-Tropical Convergence Zone, contributed to the 20 % hemispheric CF asymmetry between the tropical North and South Atlantic. The 10-year NASA MERRAero aerosol reanalysis shows that Saharan dust significantly dominates other aerosol species in the tropical north Atlantic, and it is the major contributor to hemispheric aerosol asymmetry. The hemispheric asymmetry in dust and cloud cover lead to an imbalance in strong solar radiation reaching the sea surface between the tropical North and South Atlantic. An analysis of MODIS-derived effective radius of liquid cloud droplets along SAL in the summer months has revealed that it increases with distance from the Sahara: from 13.7 μm (at longitude 27W°) to 17.2 μm (at longitude 48°W). This can be explained by the decrease in CCN numbers associated with the decreasing numbers of settling Saharan dust particles with distance from the Sahara.

In the winter months, in the absence of significant dust intrusions, the meridional distribution of CF is almost symmetrical with respect to the Atlantic ITCZ. According to MERAero, in winter, Saharan dust is not the predominant aerosol species over the tropical North Atlantic. Apart from dust, non-dusty aerosols, such as carbonates (organic and black carbon), sea salt and sulfates also significantly contribute to the total AOD over the tropical North Atlantic. In contrast to the summer months, in the winter months dust dominates other aerosol species only near the African coast. The non-dusty aerosol species could affect cloudiness in a different manner. In the winter season, absorbing aerosols, such as organic and black carbon, produce mainly a positive semi-direct radiative effect, similar to the dust effect. Sulfates and sea salt, non-absorbing aerosols, produce a negative indirect radiative effect, acting as effective CCN. Thus, non-dusty aerosols, producing either positive or negative radiative effects, significantly contribute to the large uncertainty of the aerosol-cloud radiative effect in the winter season.

1. Kishcha P., A. da Silva, B. Starobinets, et al. Meridional distribution of aerosol optical thickness over the tropical Atlantic Ocean // Atmos. Chem. Phys. Discuss. 2014. Vol. 14. P. 23309–23339, doi:10.5194/acpd-14-23309-2014.
2. Kishcha P., A. da Silva, B. Starobinets, et al. Saharan dust as a causal factor of hemispheric asymmetry in aerosols and cloud cover over the tropical Atlantic Ocean // Inter. J. of Remote Sensing. 2015. Vol. 36. P. 3423–3445, doi:10.1080/01431161.2015.1060646.
3. Kishcha P, A. da Silva, B. Starobinets, and P. Alpert. Shallow stratocumulus clouds created below the base of the Saharan Air Layer by the action of Saharan dust // ProScience. 2016. Vol. 3. P. 62–66, doi:10.14644/dust.2016.010.

Экспериментальное исследование сальтации на неоднородной поверхности

Бунтов Д.В. (dbunt@mail.ru), Кузнецов Г.А.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

В настоящее время установлено, что на интенсивность сальтации влияют неоднородности на подстилающей поверхности типа ряби и мелкой ряби [1, 2]. С целью оценки указанного эффекта в 2016 г. на опустыненной территории в Астраханской обл. выполнены измерения флуктуаций счетной концентрации и функции распределения по размерами сальтирующих песчинок для двух различных типов неоднородностей на подстилающей поверхности. Были подготовлены два фотоэлектрических счетчика сальтирующих песчинок и выполнены синхронные измерения дифференциальных счетных концентраций сальтирующих песчинок на двух соседних площадках с различными формами поверхности. Статистический анализ флуктуаций счетных концентраций показал, что при средней скорости ветра 8.5 м/с средние концентрации сальтирующих песчинок отличались в в среднем в 2.3 раза. Проанализированы корреляционные связи вариаций концентраций сальтирующих песчинок с флуктуациями скорости ветра.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №16-35-00476)

1. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Кузнецов Г.А., Бунтов Д.В. Квазипериодическая сальтация в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29, № 6. С. 472–477.
2. Семенов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. Алматы: КазНИИЭК. 2011. 580 с.

Experimental investigation of saltation at the non-inform surface

D.V. Buntov (dbunt@mail.ru), G.A.Kuznetsov
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

At present it has been found that heterogeneities at underlying surface such as sand ripples and small send ripples influence on saltation intensity. For the purpose assessment this effect the measurements of particle number concentration fluctuation and saltating sand particle size distribution for two various types of heterogeneities on the underlying surface have been carried out at desertified area in Astrachan oblast. Two photoelectric counters of saltating sand particles were prepared and synchronous measurements differential number concentration of saltating sand particle on two site witch various types of surface were carried out. Statistical analysis of number concentration has shown that average concentration of saltating sand particle for two sites differs by the factor 2.3 at wind velocity 8.5 m/s. Correlation between saltating sand concentration variations with wind velocity fluctuation was analysed.

This work is supported by RFBR (grant № №16-35-00476).

1. Gorchakov G.I., Karpov A.V., Kuznetsov G.A., Buntov D.V. Quasiperiodic saltation in the windsand flux over desertified areas // Atmos. Ocean. Opt. 2016. V. 29, № 6. P. 501–506.
2. Semenov O.E. Introduction in the Experimental Meteorology and Climatology of Sand Storms. Almaty: KazNIIEK. 2011. 580 p. (in Russian).

Сравнительный анализ гигроскопических свойств биогенного аэрозоля бореальных и тропических лесов

Миронов Г.Н. (g.mironov@spbu.ru), Миронова С.Ю., Михайлов Е.Ф., Рышкевич Т.И., Власенко С.С.

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

В работе представлены результаты исследований гигроскопических свойств субмикронных (1.00 мкм–0.56 мкм, 0.56 мкм–0.18 мкм) и микронных (свыше 3.2 мкм, 3.2 мкм–1.0 мкм) фракций аэрозольных частиц, отобранных на станции высотной мачты “ZOTTO” в Центральной Сибири (61° N, 89° E) с 4 по 18 июля 2015 г., на станции высотной мачты “ATTO” в амазонском бассейне (2° S, 59° W) с 28 мая по 4 июня 2015 г. и на станции фонового мониторинга SMEAR-II в Финляндии (61° N, 24° E) с 2 по 7 августа 2016 г. Измерения гигроскопического роста были дополнены химическим анализом частиц. Массовая доля органического углерода составила 25–50 % для ZOTTO, 25–35 % для ATTO и 25–45 % для SMEAR-II от массы частиц для субмикронных и микронных фракций, соответственно. Растворимая доля органического вещества была оценена в 10–26 % для ZOTTO, 12–21 % для ATTO и 10–25 % для SMEAR-II от общей массы частиц для этих фракций.

Измерения гигроскопического роста проводились в диапазоне относительной влажности 20–99.4% в режимах гидратации и дегидратации с помощью дифференциального анализатора гигроскопических свойств аэрозольных частиц, осажденных на фильтр (FDHA) [1]. Данные измерений показали, что для частиц сверхмикронных фракций заметное поглощение воды начинается при одинаковом уровне относительной влажности (90 % ZOTTO, 86 % ATTO, 86 % SMEAR-II), в то время как кристаллизация происходит при более низкой относительной влажности, т.е. при 65–85 % для ZOTTO, 75–85 % для ATTO и 78–86 % для SMEAR-II. Эта разница связана с различным содержанием органических веществ и характером образования частиц в разных регионах, что препятствует потере воды в дегидратационных экспериментах.

Для описания и параметризации концентрационной зависимости поглощения воды образцами атмосферного аэрозоля использована модель KIM (kappa mass interaction model) [2], на основе которой рассчитывался массовый $\kappa(m)$ и объемный $\kappa(v)$ параметр гигроскопичности. Рассчитанное значение для субмикронных фракций находится в хорошем согласии с данными, представленными для удаленных мест тропических лесов Амазонии и бореальных лесов Колорадо.

В целом, полученные данные демонстрируют сильное влияние органического углерода на гигроскопические свойства атмосферных аэрозолей в летний период. Слаборастворимые органические оболочки частиц контролируют гигроскопический рост, фазовые переходы и микроструктурные изменения. Наблюдаемые кинетические ограничения заметно влияют на результаты экспериментов, выполняемых на традиционных полевых приборах (HTDMA, CCNC) с характерными временными масштабами измерений в несколько секунд.

Работа выполнена при поддержке НИР СПБГУ 11.37.220.2016 и ресурсного центра СПбГУ «Геомодель».

1. Mikhailov E.F., Merkulov V.V., Vlasenko S.S. et al. Filter-based differential hygroscopicity analyzer of aerosol particles // Izv. Atm. Oceanic Phys. 2011. Vol. 47, № 6. P. 747–759.
2. Mikhailov, E., Vlasenko, S., Rose, D., Pцschl, U. Mass-based hygroscopicity parameter interaction model and measurement of atmospheric aerosol water up-take // Atmos. Chem. Phys. 2013. Vol. 13. P. 717–740.

Comparative analysis of hygroscopic properties of biogenic aerosol of boreal and tropical forests

G.N. Mironov (g.mironov@spbu.ru), S.Yu. Mironova, E.F. Mikhailov, T.I. Ryshkevich, S.S. Vlasenko

Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

In this study we describe the hygroscopic properties of submicron (1.00 μm–0.56 μm, 0.56 μm–0.18 μm) and micron (above 3.2 μm, 3.2 μm–1.0 μm) fractions of aerosol particles sampled at the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO) in Central Siberia (61° N; 89° E) from 4 to 18 July 2015, at the Amazon Tall Tower Observatory (ATTO) in the Amazon rainforest (2° S; 59° W) from 28 May to 4 June 2015 and at the Station for Measuring Ecosystem-Atmosphere Relations (SMEAR-II) in Finland (61° N; 24° E) from 2 to 7 August 2016. Measurements of hygroscopic growth were supplemented by chemical analyses of samples. A mass closure analysis indicates that organic carbon accounted for 25–50 % at ZOTTO, 25–35 % at ATTO and 25–45 % at SMEAR-II of PM in submicron and micron fractions, respectively. The water soluble fraction of organic matter was estimated to be 10–26 % at ZOTTO, 12–21 % at ATTO, and 10–25 % at SMEAR-II of PM in these fractions.

The hygroscopic growth measurements were conducted with a differential hygroscopicity analyzer (FDHA) [1] over the range of 20–99.4 % RH in hydration and dehydration operation modes. The FDHA study indicates that for particles of supermicron fractions, significant water absorption begins at the same level of relative humidity (90 % ZOTTO, 86 % ATTO, 86 % SMEAR-II), while crystallization occurs at lower relative humidity, i.e. at 65–85 % for ZOTTO, 75–85 % for ATTO and 78–86 % for SMEAR-II. This difference was attributed to different content of organic material, which suppresses water release in dehydration experiments.

The kappa mass interaction model KIM[2] was applied to characterize and parametrize the non-ideal solution behavior and concentration-dependent water uptake by atmospheric aerosol samples in the 20–99.4% RH range. Based on KIM, the volume-based hygroscopicity parameter, $\kappa(v)$, was calculated. The obtained value for submicron fractions is in good agreement with earlier data reported for remote sites in the Amazonian rain forest and the boreal forests of Colorado.

Overall the present ZOTTO data set, obtained in the growing season, has revealed a strong influence of organic carbon on the hygroscopic properties of the ambient aerosols. The sparingly soluble organic coating controls hygroscopic growth, phase transitions, and microstructural rearrangement processes. The observed kinetic limitations can strongly influence the outcome of experiments performed on multi-second time scales, such as the commonly applied HTDMA (Hygroscopicity Tandem Differential Mobility Analyzer) and CCNC (Cloud Condensation Nuclei Counter) measurements.

This work has been supported by the Saint-Petersburg State University (grant 11.37.220.2016). We thank the “Geomodel” Research Center at the Saint-Petersburg State University.

1. Mikhailov E.F., Merkulov V.V., Vlasenko S.S. et al. Filter-based differential hygroscopicity analyzer of aerosol particles // Izv. Atm. Oceanic Phys. 2011. Vol. 47, № 6. P. 747–759.
2. Mikhailov, E., Vlasenko, S., Rose, D., Pцschl, U. Mass-based hygroscopicity parameter interaction model and measurement of atmospheric aerosol water up-take // Atmos. Chem. Phys. 2013. Vol. 13. P. 717–740.

Радиационный и температурный эффекты длинноволнового поглощения дымового аэрозоля при пожарах в московском регионе летом 2010 г.

Горчакова И.А. (gorchakova@ifaran.ru), Мохов И.И., Аникин П.П., Емиленко А.С.

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

Получены оценки длинноволнового аэрозольного радиационного форсинга и скорости нагревания приповерхностного слоя аэрозоля в московском регионе летом 2010 г. при экстремальном задымлении атмосферы. Потоки тепловой инфракрасной радиации в

атмосфере рассчитывались с использованием интегральной функции пропускания атмосферы и полуэмпирической модели аэрозоля, полученной на основе стандартных моделей аэрозоля и данных измерений на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН [1–4].

Аэрозольный радиационный форсинг на нижней границе атмосферы достигал 33 Вт/м^2, а на верхней границе атмосферы изменялся от – 1.0 до 1.0 Вт/м^2. Скорость нагревания приповерхностного 10-метрового слоя аэрозоля в период наибольшего задымления атмосферы 7–9 августа 2010 г. достигала 0.2 град/час при высоте верхней границы приземного дымового слоя 400 метров. Оценена чувствительность длинноволнового аэрозольного радиационного форсинга к вариациям коэффициента поглощения аэрозоля и оптической толщины аэрозоля.

1. Мохов И.И., Горчакова И.А. Радиационный и температурный эффекты летних пожаров 2002 г. в московском регионе // ДАН. 2005. Т. 400, № 4. С. 528–531.
2. Горчакова И.А., Мохов И.И. Радиационный и температурный эффекты дымового аэрозоля в Московском регионе в период летних пожаров 2010 г. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48, № 5. С. 558–565.
3. Мохов И.И. Особенности формирования летней жары 2010 г. на европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47б № 6. С. 709–716.
4. Ситнов С.А., Мохов И.И., Горчаков Г.И. Связь задымления атмосферы европейской территории России летом 2016 года с лесными пожарами в Сибири и аномалиями атмосферной циркуляции // ДАН. 2017. Т. 472, № 4. С. 456–461.

Radiative and thermal impacts of the smoke aerosol longwave absorption during fires in Moscow Region in summer 2010

I.A. Gorchakova (gorchakova@ifaran.ru), I.I. Mokhov, P.P. Anikin, and A.S. Emilenko

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

Aerosol long-wave radiative forcing of the atmosphere and the heating rate of the aerosol layer near surface are estimated for extreme smoke conditions in Moscow region in summer 2010. Thermal radiation fluxes in the atmosphere are determined by the use of integral transmission function and semi-empirical aerosol model elaborated on the basis of measurements at the Zvenigorod Scientific Station of the A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS and standard aerosol models [1–4].

Aerosol radiative forcing at the lower atmospheric boundary was up to 33 W/m^2 and at the upper atmospheric boundary was from – 1.0 to 1.0 W/m^2. The heating rate of the 10-meter atmospheric layer near surface was up to 0.2 K/hour during extreme smoke conditions on 7–9 August. Sensitivity of the aerosol long-wave radiative forcing to changes of the aerosol absorption coefficient and aerosol optical thickness is estimated.

1. Mokhov I.I. and I.A. Gorchakova. Radiation and Temperature Effects of the 2002 Summer Fires in the Moscow Region // Dokl. Earth. Sci. 2005. Vol. 400, No 1. P. 160–163.
2. Gorchakova I.A. and I.I. Mokhov. The Radiative and Thermal Effects of Smoke Aerosol over the Region of Moscow during the Summer Fires of 2010 // Izv., Atmospheric and Oceanic Physics. 2012. Vol. 48, No 5. P. 496–503.
3. Mokhov I.I. Specific Features of the 2010 Summer Heat Formation in the European Territory of Russia in the Context of General Climate Changes and Climate Anomalies // Izv., Atmospheric and Oceanic Phyzics. 2011. Vol. 47, No 6. P. 653–660.
4. Sitnov S.A., I.I. Mokhov, and G.I. Gorchakov. The Link between Smoke Blanketing of European Russia in Summer 2016, Siberian Wildfires and Anomalies of Large-Scale Atmospheric Circulation // Dokl. Earth Sci. 2017. Vol. 472, No 2. P. 190–195.

Радиационная параметризация основных форм облачности

Зуев С.В. (zuev@imces.ru), Красненко Н.П., Карташова Е.С.
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр. 10/3, 634055 Томск, Россия

Наряду с решением прямых задач атмосферной оптики, позволяющим определять измеряемые параметры по результатам математического моделирования состояния атмосферы, большое значение имеет решение обратных задач. В части взаимодействия радиации с облаками одной из обратных задач атмосферной оптики является восстановление формы и балла облачности по измеренным значениям приходящей к поверхности Земли радиации. Параметризация форм облачности на основе радиационных характеристик позволяет автоматизировать такие процессы, которые до настоящего времени в большинстве случаев осуществляются визуально. Процессы образования облачности проходят под влиянием большого числа факторов, каждый из которых формирует свои специфические микрофизические, генетические и морфологические особенности. Все характерные и обычные особенности облаков, как сами по себе, так и в комбинации друг с другом, оказывают различное влияние на величины измеряемой прямой и рассеянной радиации. Благодаря этому любая облачность имеет свои специфические, свойственные только ей, амплитудные и временные актинометрические признаки, определив которые, можно восстановить состояние небосвода в некоторые моменты времени. Амплитудные признаки зависят от микроструктуры и морфологии облаков (просвечивающие – полупросвечивающие – непросвечивающие) и показывают их способность влиять на величины прямой и рассеянной радиации. Временные признаки зависят от генетики и морфологии облаков и влияют на частоту смены минимальных и максимальных значений прямой и рассеянной радиации, по которой можно судить о пространственно-временной изменчивости облаков, в т.ч. и о скорости их перемещения.

Для аналитического описания амплитудных актинометрических признаков используются коэффициенты ослабления прямой C_S и изменения рассеянной C_D радиации, определяемые как отношение средних значений радиации, измеренных за определенный промежуток времени, к значениям при ясном небе при той же высоте Солнца. В качестве временных признаков используются коэффициенты вариации прямой V_S и рассеянной V_D радиации, зависящие от частоты смены состояния покрытия солнечного диска и от скорости перемещения облачности (в основном в околозенитной зоне) за определенный промежуток времени, причем бóльшие значения коэффициентов вариации будут соответствовать бóльшей скорости перемещения облачности. Если для каждого из коэффициентов установить порог бинаризации, значения выше или ниже которого принять за "1" или "0", то каждую форму облачности можно описать своим уникальным двоичным идентификатором типа $C_S V_S C_D V_D$. Например, идентификатором состояния ясного неба является 1000, что говорит о преобладании высоких значений прямой радиации с малым разбросом измеренных значений и об отсутствии облачности, а идентификатором перистой облачности Ci является 1111, что говорит о преобладании высоких значений прямой радиации с большим разбросом измеренных значений и о наличии на небосводе облачности, которая формирует рассеянную радиацию также с большим разбросом измеренных значений. Формальное описание амплитудных и временных актинометрических признаков позволяет упростить процесс автоматизации определения основных форм облачности.

Работа выполнена в рамках проекта фундаментальных исследований СО РАН IX.138.2.5 "Научно-методические основы создания и использования технологий и информационно-измерительных комплексов для дистанционного мониторинга нижнего слоя атмосферы".

Radiation parametrization of the main cloud types

S.V. Zuev (zuev@imces.ru), N.P. Krasnenko, and E.S. Kartashova
Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academichesky ave., 634055 Tomsk, Russia

Along with the solution of direct problems of atmospheric optics, which makes it possible to determine the measured parameters from the results of mathematical modeling of the state of the atmosphere, the solution of inverse problems is of great importance. For the case of interaction of radiation with clouds, one of the inverse problems is the reconstruction of the shape and the cloud amount using the measured values of radiation. Parametrization of cloud forms on the basis of radiation characteristics makes it possible to automate such processes, which until now have been visually performed in most cases. The processes of cloud formation are influenced by a large number of factors, each of which forms its specific microphysical, genetic and morphological features. All the characteristic and usual features of clouds themselves and in combination with each other have a different effect on the values of the measured direct and diffuse radiation. Therefore, any cloudiness has its specific amplitude and time actinometric features, determining which it is possible to restore the state of the sky. Amplitude features depend on the microstructure and morphology of the clouds (translucent – semi-translucent – opaque clouds) and show their ability to influence the values of direct and diffuse radiation. The time features depends on the genetics and morphology of the clouds and affects the frequency of changing the minimum and maximum values of direct and diffuse radiation that depend on the speed of the clouds.

For the analytical description of the amplitude actinometric features, the transmission ratio of direct radiation C_S and change ratio of diffuse radiation C_D are used, defined as the ratio of the mean values of radiation measured over a certain time interval to the values for a clear sky at the same solar altitude. As the time features, the coefficients of the variation of the direct V_S and the diffuse V_D radiation are used, which depend on the frequency of the change in the state of the sun and on the speed of clouds in the near-zenith zone over a certain period of time. If setting the binarization threshold for each of these coefficients and assign a value of "1" (above the threshold) or "0" (below the threshold), then each cloud type can be described by its unique binary identifier like a $C_S V_S C_D V_D$. For example, the clear sky state identifier is 1000, which indicates the predominance of high values of direct radiation with a small spread of measured values and the absence of clouds. The identifier of the cirrus cloud Ci is 1111, which indicates the predominance of high values of direct radiation with a high variance of measured values and the presence of clouds in the sky, forming diffuse radiation, also with a high variance of the measured values. The formal description of the amplitude and time actinometric features makes it possible to simplify the process of automating the determination of the main cloud types.

The research is carried out within the framework of projects IX.138.2.5 "Scientific and methodological foundations for develop and use of technologies and information-measuring systems for remote monitoring of the lower atmosphere" of program for Basic Research of SB RAS.

Особенности пространственно-временных изменений оптической толщины аэрозоля на территории Дальнего Востока России по данным спутниковых и наземных наблюдений

Плахина И.Н.[1](inna@ifaran.ru), Панкратова Н.В.[1] Махоткина Е.Л.[2](makhotk@mail.ru), Махоткин А.Н.[2]
[1]*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия*
[2]*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия*

В последние годы появилась серия работ, в которых рассматривается временная изменчивость аэрозольной оптической толщины атмосферы (АОТ) в различных регионах России (от Дальнего Востока до Поволжья) по данным спутниковых (MODIS) и наземных

(AERONET) наблюдений за 10-ти летний период наблюдений. Среди этих результатов обращают на себя внимание данные станции Уссурийск, для которой в 2006, 2008 и 2009 гг. зафиксированы экстремально высокие значения AOT_500. Известно также, что характерные и разнообразные условия прозрачности атмосферы на российском Дальнем Востоке формируются под влиянием воздушных потоков, поступающих со стороны океана и континентальных воздушных выносов, в частности, с территории Китая. Локальными источниками аэрозоля в регионе являются также лесные пожары различной мощности, возникающие практически ежегодно.

Мы привлекли к анализу пространственно-временного режима прозрачности атмосферы на этой территории оценки АОТ, получаемые на актинометрических станциях Росгидромета (ГМС), расположенных в данном регионе РФ, в частности, станции Сад-Город и Тимирязевская, ближайшие к наземной станции АЭРОНЕТ в Уссурийске. Таким образом, был выполнен совместный анализ данных спутниковых и наземных наблюдений аэрозольной оптической толщины атмосферы (АОТ) на длине волны 0.55 мкм над Дальневосточной частью территории России (40–55° N; 130–145° E) в период 2008–2015 гг. Объектом исследования явились наземные данные, полученные на станции Уссурийск (AERONET) и 9-и актинометрических станциях Росгидромета (ГМС), а также данные, полученные со спутников MODIS (Terra и Aqua).

По результатам анализа синхронизированных рядов выявлены особенности пространственно-временных изменений АОТ. Получены оценки АОТ для различных частей региона и установлены различия в АОТ, обусловленные особенностями расположения отдельных станций. Анализ временных изменений АОТ выполнен для различных масштабов (день, месяц, год). Полученные оценки временного изменения АОТ за рассматриваемый период показывают, что проявляются тенденции изменения мутности атмосферы от года к году, характерные для территории РФ в целом, а именно, монотонное снижение в период 1976–2015 гг. при более заметном понижении мутности в 1994–2015 гг. Выделяются три типа годового хода. В годовом ходе станций, расположенных на побережье, имеется четко выраженный максимум в мае. На станциях, расположенных внутри материка, АОТ меняется более плавно, чем на побережье, максимум годового хода также приходится на май, а минимум на ноябрь. Максимальные месячные значения АОТ и амплитуда годового хода в обоих случаях близки. Станции Уссурийск, Тимирязевский, Сад-Город, расположенные в непосредственной близости друг от друга, имеют четко выраженный годовой ход АОТ с максимумом весной (апрель, май) и низкими значениями в осенне-зимний период. Отличие этих 3-х станций от других станций региона состоит в том, что значения АОТ на них существенно выше: для станции Уссурийск оно составляет 0.27, для станций Тимирязевский и Сад-Город – 0.19, 0.20, для остальных – 0.11–0.10. Представленные в работе средние, и экстремальные месячные значения АОТ свидетельствуют о том, что зафиксированные резкие возмущения могут быть обусловлены как местными особенностями, так и выносами воздуха из густонаселенных районов Китая. Относительно кратковременные изменения АОТ, обусловленные адвективным переносом в регион воздушных масс с высоким содержанием аэрозоля из Китая, рассмотрены по данным мониторинга дневных величин АОТ. Резкие изменения АОТ в отдельные дни исследованы с привлечением метода обратных траекторий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ – грант № 15-05-05803.

Features of time-spacial variations for aerosol optical depth over Far East Russia territory by data of satellite and surface observations

I.N. Plakhina[1] (inna@ifaran.ru), N.V. Pankratova[1], E.L. Makhotkina[2], A.N. Makhotkin[2]
[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*A.I. Voeykov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Sankt-Petersburg, Russia*

At last years a number of papers, concerning temporal variations of the atmosphere aerosol optical depth (AOD) in different Russia regions (from near Volga to Far East) obtained from satellite (MODIS) and ground-based (AERONET) measurements during last 10 years were presented. It is important, that AOD values (AERONET) for Ussuriysk station are extremely high in 2006, 2008 and 2009. It is also known that the specific and various atmosphere transparency conditions in Russia Far East region are formed under the influence of the air fluxes from the ocean or from the continent, particularly, from the China. Local aerosol sources in this region are also frequent forest fires.

For analyzing the time-spatial transparency regime over this territory, we have attached AOD estimations obtained at Roshydromet actinometric stations (9 stations including Sad-Gorod and Timiryasevskaya, which are the most nearly situated to Ussuriysk AERONET station). So the combined analysis of the atmosphere aerosol optical depth (AOD) over the RF region (40–55° N; 130°–145° E) in 2008–2015 have been performed using data of satellite (MODIS on board Terra and Aqua satellites) and ground-based observations (9 ground-based stations (GMS) and Ussuriysk AERONET station).

Features of the of time–spatial AOD variations have been revealed from the data of the synchronized series. The AOD estimations for the different parts of the region and their differences have been established in the dependence on a disposition of the separate stations. Analysis was fulfilled for the different time scales (day, month, year). The estimations were done for AOD negative trends (from year to year), for three types of the seasonal variations (continental stations, coastal stations and stations near Ussuriysk). For these last stations some extremely large AOD values attest that the fixed strong disturbances may be connected with the air advection from the populous China regions. Relatively fast AOD variations, connected with the advection of the air with the high aerosol concentration from the China, were investigated by the monitorimg of the day-average values, the variations of AOD in these separate days were studied by the reverse trajectory methods.

The work has supported by the Russian Fundamental Investigations Foundation – project # 15-05-05803.

Результаты измерений конденсационной активности ядер Айткена в пригороде Санкт-Петербурга

Иванова О.А., Небосько Е.Ю., Власенко С.С., Рышкевич Т.И., Михайлов Е.Ф. (eugene.mikhailov@spbu.ru)
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Атмосферные частицы моды Айткена в значительной степени контролируют образование и трансформацию облачных систем, что, в свою очередь, оказывает влияние на их радиационные свойства. [1]. Увеличение концентрации облачных ядер нуклеации за счёт антропогенных и естественных источников приводит к увеличению концентрации и уменьшению размера облачных капель, что, в свою очередь, приводит к изменению времени жизни и радиационных свойств облаков [2, 3].

В данной работе описана методика измерений конденсационной активности монодисперсных частиц и представлены данные измерений, полученные для выделенных аэрозольных фракций с диаметрами 60, 80 и 100 нм. Измерения были выполнены на фоновой станции городского типа в пригороде Санкт-Петербурга в апреле 2014 года. Концентрация

облачных ядер конденсации и параметров их активации определены в диапазоне пересыщений водяного пара 0.1–1.1 %. Измерения проводились с помощью дифференциального анализатора подвижности (DMA, модель TSI 3081) и счетчика облачных ядер конденсации (модель CCN-100, DMT). Первый прибор обеспечивал выделение узкодисперсной фракции частиц с геометрическим стандартным отклонением ~ 1.05, второй прибор использован для определения концентрации облачных ядер конденсации при заданном значении пересыщении водяного пара.

Данные измерений показали, что в рассматриваемом диапазоне пересыщений доля активных частиц, способных к конденсационному росту, в среднем не превышает 33 %, что характерно для антропогенных частиц, содержащих гидрофобные органические компоненты [4]. По данным измерений определены значения параметра гигроскопичности κ, величина которого отражает влияние химического состава на способность частиц к их гигроскопическому и конденсационному росту. В период наблюдений значение этого параметра варьировало в пределах 0.1–0.8. Нижние значения параметра κ соответствуют органическим частицам, тогда как более высокие значения связаны с присутствием гигроскопически активных неорганических компонентов. Среднее значение параметра гигроскопичности κ составило 0.34 ± 0.19 и хорошо согласуется с данными измерений, полученными для мегаполисов юго-восточной Азии и континентального аэрозоля Европы [5].

Работа выполнена при поддержке НИР СПбГУ 11.37.220.2016, грантов РФФИ №№ 16-05-00717 и 16-05-00718, а также ресурсного центра СПбГУ «Геомодель».

1. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. N. York: John Willey and Sons Inc. 2006. 1326 p.
2. Twomey S. Pollution and the planetary albedo // Atmos. Environ. 1974. Vol. 8, No 12. P. 1251–1256.
3. Lohmann U., FeichterJ. Global indirect aerosol effects: a review // Atmos. Chem. Phys. 2005. Vol. 5, No 3. P. 715–737.
4. Kulmala M., Kerminen V.-M. On formation and growth of atmospheric nanoperticles // Atmos. Res. 2008. Vol. 90, No 2–4. P. 132–150.
5. Pringle K.J., Tost H., Pozzer A., et al. Global distribution of the effective aerosol hygroscopicity parameter for CCN activation // Atmos. Chem. Phys. 2010. Vol. 10, No 12. P. 5241–5255.

Seasonal measurements of cloud condensation nuclei activity of the Aitken mode particles near St. Petersburg

O.A. Ivanova, E.Yu. Nebosko, S.S. Vlasenko, T.I. Ryshkevich, E.F. Mikhailov
(eugene.mikhailov@spbu.ru)
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

Aitken mode atmospheric particles have a significant effect on radiative properties of cloud systems through controlling the formation and transformation of the cloud droplets in polluted air [1]. One of the overarching factors is the ability of such particles to act as cloud condensation nuclei (CCN). The growth of CCN concentration due to anthropogenic and natural sources leads to increasing the concentration of cloud droplets and decreasing their size that in turn changes clouds lifetime and radiative properties [2, 3].

In this paper the size-resolved CCN activity counter is described and the results obtained for monodisperse 60, 80 and 100 nm particles are presented. Measurements were performed at the urban background station in a suburban area of Saint-Petersburg during the spring period of 2014. The CCN concentration of the size-selected particles and cloud condensation nuclei parameters in the water vapor supersaturation range of 0.1–1.1% were determined. The obtained results have shown that only 33 % of the particles are capable to serve as cloud condensation nuclei. This value is typical for anthropogenic aerosols containing hydrophobic organic components [4]. Also the parameter κ characterizing the chemical composition effect on the hygroscopicity of CCN-active particles has been determined. During measurement campaign κ values varied between 0.1 and 0.8. Its lower limit corresponds to organic species and further growth occurs due to presence hygroscopically active inorganic species. The average value of κ was estimated to be 0.34 ± 0.19,

which is in good agreement with previous estimates based on observational CCN data, reported for number of mega-cities and European continental aerosols [5].

This work has been supported by the Saint-Petersburg State University grant 11.37.220.2016, RFBR grants №№16-05-00717 and 16-05-00718. We thank the “Geomodel” Research Center at the Saint-Petersburg State University.

1. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. N. York: John Willey and Sons Inc. 2006. 1326 p.
2. Twomey S. Pollution and the planetary albedo // Atmos. Environ. 1974. Vol. 8, No 12. P. 1251–1256.
3. Lohmann U., FeichterJ. Global indirect aerosol effects: a review // Atmos. Chem. Phys. 2005. Vol. 5, No 3. P. 715–737.
4. Kulmala M., Kerminen V.-M. On formation and growth of atmospheric nanoperticles // Atmos. Res. 2008. Vol. 90, No 2–4. P. 132–150.
5. Pringle K.J., Tost H., Pozzer A., et al. Global distribution of the effective aerosol hygroscopicity parameter for CCN activation // Atmos. Chem. Phys. 2010. Vol. 10, No 12. P. 5241–5255.

Гигроскопические свойства биологических аэрозолей на примере водорастворимых экстрактов пыльцы сосны и березы

Костюков А.А., Михайлов Е.Ф. (eugene.mikhailov@spbu.ru)
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Биологический аэрозоль, такой как пыльца растений, споры грибов, остатки растительности, бактерии, вирусы, клеточный материал, включая продукты метаболизма и т.д., составляет 15–20 % от общей массы аэрозоля в атмосфере. Но непосредственное влияние биоаэрозолей на атмосферные процессы, в частности, на радиационные возмущения, плохо изучено. Данная работа ставит перед собой задачу определения гигроскопических свойств биоаэрозолей, а именно, – водорастворимой фракции клеточного материала пыльцевых зерен сосны и березы. Для проведения измерений был использован тандем дифференциальных анализаторов подвижности, позволяющий определить фактор гигроскопического роста монодисперсных частиц (отношение влажного диаметра к исходному диаметру сухой частицы) в интервале размеров 20–500 нм в диапазоне относительной влажности 5–95 %. На основе этих данных рассчитывается параметр гигроскопичности, дающий количественную оценку способности частиц к гигроскопическому росту.

Данные измерений показали, что фактор роста гигроскопического материала (главным образом протеины, углеводы и соли калия) для двух видов пыльцы в изученном диапазоне влажности воздуха отличается незначительно и при 95 % составляет ~ 1.5. Соответственно параметр гигроскопичности водного экстракта пыльцы березы равен 0.25 ± 0.03, а сосны – 0.20 ± 0.02. Для сравнения, фактор роста гигроскопического сульфата аммония при 95 % равен 2.0, а параметр гигроскопичности – 0.58. Данные измерений показывают, что аэрозоли, образованные из клеточного материала пыльцевых зерен растений, способны в значительной степени влиять на оптические свойства атмосферы, особенно в периоды вегетативного роста растений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 16-05-00717 «Взаимодействие атмосферных биоаэрозолей с водяным паром: эксперимент и моделирование».

Hygroscopic properties of bioaerosols on the example of water-soluble extracts of pine and birch pollens

A.A. Kostukov, E.F. Mikhailov (eugene.mikhailov@spbu.ru)
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

A biological aerosol, such as plant pollens, fungal spores, vegetation residues, bacteria, viruses, cellular material, including metabolic products, etc., is 15–20 % of the total aerosol mass in the atmosphere. But the direct influence of bio-aerosols on atmospheric processes, in particular on radiation forcing, has been poorly studied. This paper aims to determine the hygroscopic properties of bio-aerosols, namely the water-soluble fraction of the cellular material of the pine and birch pollen grains. A tandem of differential mobility analyzers was used to determine the hygroscopic growth factor of monodisperse particles (ratio of wet diameter to initial dry particle diameter) in the 20–500 nm range in the 5–95% relative humidity range. On the basis of these data, a hygroscopicity parameter that quantifies the ability of the particles to hygroscopic growth is calculated.

The measurements showed that the growth factor of hygroscopic material (mainly proteins, carbohydrates and potassium salts) differ insignificantly for the two types of pollen in the humidity range studied and at ~ 95% is ~ 1.5. Accordingly, the hygroscopicity parameter of the water extract of the birch and pine pollen is 0.25 ± 0.03, and 0.20 ± 0.02. For comparison, the growth factor of hygroscopic ammonium sulfate at 95 % is 2.0, and the hygroscopicity parameter is 0.58. The obtained results show that aerosols formed from the cellular material of the pollen grains of plants can greatly influence the optical properties of the atmosphere, especially during vegetation periods.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant 16-05-00717 "Interaction of atmospheric bio-aerosols with water vapor: experiment and modeling".

Моделирование измерений поляризации излучения для исследования облачности полярных широт

Фалалеева В.А. (victory@phystech.edu), Чернокульский А.В., Мамонтов А.Е., Артамонов А.Ю.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Восстановление характеристик облаков и аэрозолей по спутниковым данным является важной задачей дистанционного зондирования атмосферы. С одной стороны, облака и аэрозоли являются самыми динамичными и неопределёнными факторами в радиационном форсинге на климат. С другой стороны, это основные поляризующие составляющие в атмосфере. Поэтому измерения поляризации излучения могут быть полезны в восстановлении информации о рассеивающих слоях.

Поскольку полярные регионы наиболее чувствительны к изменениям климата, были проведены численные эксперименты по оценке эффективности поляризационных измерений для условий полярных широт. В работе использовалась прямая модель переноса излучения Fast Line-by-Line Model (FLBLM) для расчётов параметров Стокса уходящего солнечного и теплового излучения в видимом, ближнем и тепловом ИК-диапазонах для различных характеристик облачности (микрофизика облака, высота, оптическая толщина) и подстилающей поверхности (лёд/открытая вода). Результаты численных экспериментов показали, что чувствительность линейной поляризации к изменению облачной структуры в выбранных случаях составляет порядка 10 % для солнечного излучения и 1 % для теплового, при этом поляризация теплового излучения становится заметной лишь на лимбовых трассах. Поляриметрическое пассивное зондирование может повысить информативность спутниковых данных, если приборы будут соответствовать определённым требованиям, в том числе обладать высоким спектральным разрешением. А модель FLBLM может применяться для планирования спутниковых экспериментов.

Работа поддержана грантами РФФИ (16-35-00585, 15-01-00783 и 17-01-00220).

Polarimetric measurements simulations for investigation of the cloudiness in polar regions

V.A. Falaleeva (victory@phystech.edu), A.V. Chernokulsky, A.E. Mamontov, A.Yu. Artamonov

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

The retrieval of clouds and aerosols properties from satellite data is an important issue in the remote sensing. On the one hand, clouds and aerosols are the most dynamic and uncertain in radiative forcing. On the other hand, they are the main polarizing factors in atmosphere. Thus the polarized radiation measurements may be useful for retrieval of the information about the scattering layers.

Since polar regions are the most susceptible to climate change, we carried out the numerical experiments to evaluate the benefits of such measurements for the polar conditions. In this work we have used the forward radiative transfer model Fast Line-by-Line Model (FLBLM) for the calculations of the Stokes parameters of the outgoing solar and thermal radiation in visible, near- and thermal infrared channels for the different cases of cloudiness (cloud microphysics, height, optical depth) and surface albedo (ice, open water). The results of the numerical experiments show that sensitivity of the linear polarization to the change of cloud structure in selected cases is about 10 % for solar radiation and 1 % for thermal one, while polarization of thermal radiation becomes noticeable on the limb traces only. Polarized passive sounding could improve the quality of retrieval information, but the instruments meet certain requirements, such as high spectral resolution. And FLBLM can be applied for planning the satellite missions.

This work is supported by RFBR grants (16-35-00585, 15-01-00783 and 17-01-00220).

Закономерности пространственно-временного распределения радиационного баланса земной поверхности в республике Армения

Маргарян В.Г. (vmargaryan@ysu.am), Варданян Т.Г.
Ереванский государственный университет, ул. Алека Манукяна 1, 0025 Ереван, Республика Армения

Радиационный баланс подстилающей поверхности, т.е. разность прихода-расхода лучистой энергии Солнца, является одним из основных климатообразующих факторов данной территории. Величиной радиационного баланса подстилающей поверхности в основном определяется распределение тепла в нижних слоях почвы и в приземном слое воздуха. Учитывая вышесказанное, в работе поставлена цель изучить, выявить и оценить закономерности пространственно-временного распределения радиационного баланса подстилающей поверхности, в особенности в условиях глобального изменения климата горной территории Республики Армения. С целью решения поставленных задач в работе теоретической и информационной основой послужили соответствуюшие исследования, опубликованные работы. В качестве исходного материала в работе использованы результаты фактических актинометрических наблюдений МЧС Республики Армения “Службы по гидрометеорологии и активному воздействию на атмосферные явления”, а также справочники солнечной радиации. На сети актинометрических станций Республики Армения наблюдения за радиационным балансом проводятся с 1957 г. В качестве метеорологической основы в работе использованы географический, математико-стастический, экстраполяционный методы, а также методы сопоставления, сравнения, анализа и корреляции.

Расчеты показали, что наибольшее значение интенсивности радиационного баланса в суточном ходе приходится на полдень для всех высот, максимальное значение в годовом ходе наблюдается в мае–июне при ясном небе и в июле – при средней облачности. Хорошо прослеживается уменьшение месячных сумм радиационного баланса с высотой местности почти с сентября по апрель (при ясном небе) и с октября по май (при средней облачности), что соответствует увеличению альбедо с высотой местности. С мая по октябрь и с июня по сентябрь, наоборот, соответственно, с высотой местности отмечается некоторое увелечение месячных сумм радиационного баланса, в то время как альбедо имеет тенденцию к уменьшению. Годовая сумма радиационного баланса по территории Республики Армения изменяется от 3390 до 2817 МДж/м^2 (при ясном небе) и от 2574 до 1290 МДж/м^2 (при средней облачности), причем с высотой местности происходит ее уменьшение. Отрицательный баланс наблюдается только в течение 2–3 зимних месяцев. В среднем радиационный баланс составляет от 27 % фактических сумм суммарной радиации на высокогорных станциах до 46 % на станциях Ереван “агро” и Гюмри. Одновременно можно заметить, что значительное уменьшение величины радиационного баланса с высотой

местности происходит, начиная с высоты 1900–2000 м, что обясняется резким увеличением альбедо на этих высотах.

Таким образом, радиационный баланс имеет четко выраженный дневной ход, соответствующий дневному ходу высоты Солнца, с максимальным значением в полдень, с минимальным – в утренные часы. Годовой ход радиационного баланса почти следует за годовым ходом полуденных высот Солнца, особенно в летнее время, и достигает максимального значения в мае–июне, при действительных условиях погоды – в июле. Минимальное значение радиационного баланса как при ясном небе, так и при действительных условиях погоды наблюдается в январе. Отмечается уменьшение годовых сумм радиационного баланса с высотой местности как при ясном небе, так и при средней облачности. Месячные суммы радиационного баланса в осенний и зимний периоды с высотой местности, как правило, уменьшаются, а во вторую половину весеннего периода и в летний период постепенно увеличиваются. Значительное изменение месячных сумм радиационного баланса с высотой местности происходит, начиная с высоты 1500–2000 м и выше. Величина радиационного баланса зависит также от экспозиции склонов и закрытости горизонта, так как от этих же элементов зависят как продолжительность солнечного сияния, так и величина суммарной радиации. Радиационный баланс за вегетационный период, как и суммарная радиация, с высотой местности уменьшается.

Regularities of spatiotemporal distribution of the radiation balance of the Earth surface in the republic of Armenia

V.G. Margaryan (vmargaryan@ysu.am), T.G. Vardanian
Yerevan State University, 1 Alek Manoukian str., 0025 Yerevan, Republic of Armenia

The radiation balance of the underlying surface, i.e. the difference between incoming and outgoing Sun radiant energy, is one of the major climate factors of this territory. Distribution of heat in soil sublayers and in an air near-ground layer is defined by the radiation balance of the underlying surface. In the paper, the object to study is the investigation and estimation of regularities of spatio-temporal distribution of radiation balance of underlying surface in conditions of global climate change of mountainous territory of the Republic of Armenia. Corresponding researches and published works are the theoretical and informational basis for solving these objectives. Results of the actual actinometric observations of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia (“Service for Hydrometeorology and Active Influence on Atmospheric Phenomena”), and also reference books of a sunshine are used as an initial material in the work. Observations of the radiation balance at the network of actinometric stations of the Republic of Armenia has been performed since 1957. Geographical, mathematical-statistical, extrapolation techniques and also methods of comparison, analysis and correlation are used as a methodological basis in the work.

Calculations have shown that the greatest value of the intensity of radiation balance in diurnal changes falls on midday for all altitudes, the maximum value in the annual variation is observed in May–June at a clear palate and in July – at an average cloudiness. Decrease of the monthly sums of radiation balance with terrain altitude almost from September to April (in clear sky) and from October to May (in average cloudiness) is well-traced that corresponds to the increase in albedo with terrain altitude. From May to October and from June to September, on the contrary, with terrain altitude some increase in the monthly sums of radiation balance is noted, while the albedo tends to decrease. The annual sum of radiation balance across the territory of the Republic of Armenia changes from 3390 to 2817 MJ/m^2 (in clear sky) and from 2574 to 1290 MJ/m^2 (in average cloudiness), and there is its decrease with terrain altitude. The negative balance is observed only during 2–3 winter months. The radiation balance averages from 27 % of the actual sums of total radiation at mountainous stations to 46% at the stations Yerevan “agro” and Gyumri. At the same time, it is possible to notice that the considerable decrease of radiation balance with the terrain

altitude happens since altitudes of 1900–2000 m that is explained by a sharp increase of albedo at these heights.

Thus, the radiation balance has well-marked daily variation corresponding to the daily variation of Sun height with the maximum at noon, with minimum – in the morning. The annual variation of a radiation balance almost follows the annual variation of midday Sun heights, especially in summer-time, and reaches the maximum value in May–June, under the real conditions of weather – in July. Minimum value of a radiation balance both in clear sky, and under the real conditions of weather is observed in January. The annual sums of a radiation balance decrease with height of the area both at clear sky, and under average cloudiness. The monthly sums of a radiation balance decrease, as a rule, with area height during the autumn and winter periods and increase gradually in the second half of the spring period and during the summer period. Great change of monthly sums of radiation balance with area height happens since the height 1500–2000 m and above. The value of the radiation balance also depends on slopes exposition and horizon close, because sunshine duration and the value of total radiation depend on these elements. Radiation balance during the vegetation period and total radiation decrease with the height.

Многолетние ряды прозрачности толщи атмосферы, 1906−2016

Охврил Х.[1](hanno.ohvril@ut.ee), Окулов О.[1], Каттай К.[1], Уустаре М.[1], Нейман Л.[1], Руссак В.[2], Йыевеэр А.[3], Каллис А.[3], Охврил Т.[4], Терез Э.И.[5], Терез Г.А.[5], Гущин Г.К.[5], Абакумова Г.М.[6], Горбаренко Е.В.[6], Лаулайнен Н.[7]

[1]*Тартуский университет, Тарту 50090, Эстония*
[2]*Тартуская обсерватория, Тыравере 61602, Эстония*
[3]*Агенство окружающей среды, Таллин 10616, Эстония*
[4]*Эстонский университет естественных наук, Тарту 51014, Эстония*
[5]*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Крым 298409, Россия*
[6]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
[7]*Тихоокеанская северозападная национальная лаборатория, Ричланд, Вашингтон 99352, США*

Многолетние изменения прозрачности толщи атмосферы, полученные на основании измерений прямой интегральной солнечной радиации, позволяют оценивать загруженность воздуха аэрозолями, образование радиационного режима и условий дистанционного зондирования. В данной работе основным исследуемым параметром выбран Бугеровский интегральный коэффициент прозрачности атмосферы (p_2), приведенный к оптической массе атмосферы $m = 2$ (при высоте Солнца $\approx 30°$). Существует два независимых метода приведения, разработанные соответственно Евневичем–Савиковским и Мюрком–Охврилем. Этот коэффициент является простым и ясным по своему физическому смыслу, а также даёт возможность перейти на другие параметры прозрачности и мутности атмосферы, в том числе на спектральную аэрозольную оптическую толщину (AOT500, AOT550).

Как и в наших прошлых докладах (МСАРД-2009, 2011, 2013, 2015), мы представим многолетние ряды p_2 для трёх различных европейских климатических зон: 1) Ленинградской области и Эстонии (Павловск, Воейково, Тарту-Тыравере, Тийрикоя); 2) Москвы (МО МГУ); 3) Крыма (Карадаг). В общей сложности эти ряды покрывают 111 лет, 1906–2016.

Выделяются следующие закономерности.

1. Заметное уменьшение прозрачности после крупных вулканических извержений. Возвращение к прежнему уровню прозрачности происходит в течение двух-трех лет.

2. Высокие значения прозрачности наблюдались в начале 20 века, в довоенное время и с начала конца 20 века.

3. Почти 40-летний падающий тренд прозрачности, 1945–1983/1984 гг., т.н. *период потемнения*.

4. Сильное уменьшение прозрачности, особенно в Москве, происходит из-за местных летних лесных и торфяных пожаров (1972, 2002, 2006, 2010 гг.).

5. В ходе крупного лесного пожара иногда образуется 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 гг.). В Восточной Европе влияние Американского дыма меньше, однако это было зафиксировано в Эстонии в 1991 г.

6. 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.

7. Период начиная с 1984/1985 гг. можно назвать периодом *осветления*, который был прерван извержением вулкана Пинатубо (1991 г.). Послепинатубовский период, 1994–2016 гг., характеризуется очень высокой прозрачностью толщи атмосферы. Это хорошо прослеживается на «ковровых» графиках среднемесячных прозрачностей p_2. Поскольку за этот период не обнаружено увеличения влагосодержания атмосферы, то улучшение прозрачности атмосферы произошло за счёт уменьшения аэрозольного загрязнения. Причиной уменьшения аэрозольной нагрузки является как отсутствие крупных вулканических извержений, начиная с 1992 г., так и уменьшение антропогенного загрязнения воздуха за счёт улучшения технологий, перемещения производства из Западной Европы в Азию и за счёт спада экономики в Восточной Европе в ходе крупных структурных политико-экономических реформ, начиная с конца 1980 гг.

8. В послепинатубовские годы (1994–2016 гг.) в сезонных ходах коэффициента p_2 произошли следующие изменения:

- в Москве усилился, а в Тыравере появился летний максимум прозрачности в июне;
- на Карадаге минимум летней (а значит и годовой) прозрачности сдвинут с июля на август.

С сожалением следует отметить, что по разным причинам многолетний временно́й ряд прозрачности на Карадаге завершается 2014 годом, а в Тийрикоя – 2015 годом.

Работа выполнена при поддержке проекта «Эстонский радиационный климат» (Европейский фонд регионального развития, ERDF).

Multiannual time series of column transparency, 1906-2016

H. Ohvril[1] (hanno.ohvril@ut.ee), O. Okulov[1], K. Kattai[1], L. Neiman[1], M. Uustare[1], V. Russak[2], A. Jõeveer[3], A. Kallis[3], T. Ohvril[4], E. Terez[5], G. Terez[5], G. Gushchin[5], G. Abakumova[6], E. Gorbarenko[6], N. Laulainen[7]

[1]*University of Tartu, 18 Ülikooli, 50090 Tartu, Estonia*
[2]*Tartu Observatory, 61602 Tõravere, Estonia*
[3]*Estonian Environment Agency, 10616 Tallinn, Estonia*
[4]*Estonian University of Life Sciences, 51014 Tartu, Estonia*
[5]*Crimean Astrophysical Observatory of the RAC, 298409 Crimea, Russian Federation*
[6]*Lomonosov Moscow State University, 119992 Moscow, Russian Federation*
[7]*Pacific Northwest National Laboratory, Richland, 99352 Washington, USA*

Multiannual changes in atmospheric column transparency based on measurements of direct solar radiation allow us to assess aerosol load, formation of surface radiation regime and conditions for remote sensing. In this work, the main parameter is the Bouguer integral (broadband, panchromatic) transparency coefficient (p_2) transformed to optical air mass $m = 2$ (solar elevation ≈ 30°). There are two independent methods for this transformation, elaborated by Evnevich-Savikovskij and by Mürk-Ohvril, respectively. This coefficient enables easy calculation of several other broadband parameters of column transparency and turbidity, as well as transition to spectral Aerosol Optical Thickness (AOT500, AOT550).

We present multiannual time series of p_2 for three different European climate zones: 1) Leningrad Oblast and Estonia (Pavlovsk, Voejkovo, Tartu-Tõravere, Tiirikoja), 2) Moscow

(Meteorological Observatory of the Moscow State University), 3) Crimea (Karadag). In total these time series cover 111 years, 1906–2016.

The next general regularities can be listed.

1. Considerable decrease in column transparency after large volcanic eruptions. Recovery takes 2–3 years.

2. High levels of column transparency occurred in the beginning of the 20th century, before the World War II, and from the end of the 20th century.

3. Almost a 40-year decreasing period, from 1945 ot 1983/1984, known as a *period of dimming*.

4. A remarkable decrease in transparency, especially in Moscow, due to summer forest and peat fires (1972, 2002, 2006, 2010).

5. Within 24 hours, smoke and heat from a wildfire are capable to create a towering cloud, *Pyrocumulonimbus*, which injects biomass-burning emissions into the lower stratosphere. Emissions from Canada/U.S. PyroCb clouds often traverse the Atlantic Ocean and affect Western and Central Europe (1950, 1991, 1998). Impact on Eastern Europe is less noticeable but is detectable by pyrheliometric observations (1991). Many stratospheric pollution events have been erroneously attributed to aerosols from volcanic eruptions, and therefore, should be reevaluated.

6. 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 latitude and was detected in Estonia on 28-May-2003.

7. From 1984/1985 the trends in column transparency changed their sign from negative to positive. The transition from decreasing to increasing transparency was in line with the increase of global solar radiation, i.e. with '*global brightening*', interrupted with the Mt. Pinatubo eruption. After that, the years from 1994 onward are characterized with high transparency and low column aerosol content.

8. Concerning seasonal evolution of column transparency, there are two interesting changes during the post-Pinatubo years (from 1994 onward):

- in Moscow, a higher value of p_2 in June became more evident; at Tõravere, it became obvious;
- at Karadag, the lowest summer value of p_2 is shifted from July to August.

It is inconvenient to report that due to various circumstances, the years 2014 and 2015 are the last ones for the Karadag and the Tiirikoja time series, respectively.

The research has been supported by a project "Estonian radiation climate" funded by European Regional Development Fund (ERDF).

Использование измеренной, расчетной и спутниковой информации для определения радиационного баланса земной поверхности

Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1, 119234 Москва, Россия

С целью сохранения рядов радиационного баланса подстилающей поверхности и исследования его пространственной изменчивости предложены эмпирические соотношения между радиационным балансом и его компонентами, произведена оценка доступной спутниковой информации, проведено сравнение измеренных, расчетных и спутниковых данных. Эмпирические соотношения получены на основе регрессионного анализа радиационных и метеорологических параметров атмосферы по данным измерений в Метеорологической обсерватории Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МО МГУ).

Проведено сравнение спутниковых данных NASA POWER с соответствующими данными наземных наблюдений МО МГУ. Дана оценка возможности их использования для определения радиационного баланса подстилающей поверхности. Показано, что при восстановлении радиационного баланса возможно использовать спутниковую информацию о нисходящих коротковолновых и длинноволновых потоках. Использование спутниковых данных, характеризующих состояние подстилающей поверхности (альбедо, температура), может привести к существенным расхождениям в значениях радиационного баланса, так как измерения ведутся над различными подстилающими поверхностями. Наилучшие результаты в определении радиационного баланса по спутниковым данным достигаются при привлечении фактических данных наземных наблюдений о состоянии подстилающей поверхности. С учетом этих оценок, произведен расчет суточных значений радиационного баланса по спутниковым данным и сравнение их с данными наблюдений.

The use of measured, calculated and satellite data to determine the radiation balance of the underline surface

E.V. Gorbarenko (catgor@mail.ru)
M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninsky gory, 119234 Moscow, Russia

In order to maintain the ranges of radiation balance estimates at the underline surface, as well as to study its spatial variability, the empirical relationships between the radiation balance and its components have been proposed. The estimation of available satellite information as well as the comparison of measured, calculated and satellite data has also been performed. Empirical relationships were obtained from a regression analysis of atmospheric radiation and meteorological parameters using measurements provided by the Meteorological Observatory of Lomonosov Moscow State University (MO MSU).

A comparison of satellite data from the NASA POWER site with corresponding ground-based observations of MO MSU was performed. The possibility of their use for determining the radiation balance of the underline surface is estimated. It was demonstrated that it is possible to apply satellite information about downward short- and long-wave fluxes in order to restore the radiation balance. The use of satellite data describing the surface condition (albedo, temperature) could lead to significant discrepancies in the radiation balance values with ground-based measurements because measurements are performed over different underline surfaces. The best results in determining the radiation balance from satellite data are achieved by using the ground-based measurements of the underline surface parameters. Taking into account these measurements, the daily values of the radiation balance based on satellite data were calculated and compared with observations.

Тренды УФ радиации в Северной Евразии по данным ХКМ ИВМ-РГГМУ, спутниковым измерениям и по данным реанализа ERA-INTERIM

Пастухова А.С.[1], Чубарова Н.Е.[1] (natalia.chubarova@gmail.com), Жданова Е.Ю.[1], Хлестова Ю.О.[1], Полюхов А.А.[1], Смышляев С.П.[2], Галин В.Я[3]
[1]*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. факультет, Ленинские горы 1, 1199911 Москва, Россия*
[2]*Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия*
[3]*Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 11999 Москва, Россия*

Ультрафиолетовая радиация (УФР) оказывает существенное влияние на природную среду и здоровье человека и играет важную роль в атмосферных процессах [1]. Для ее оценки используются различные методы: данные наземных и спутниковых измерений [2], численное моделирование с использованием точных методов расчетов, модели УФ реконструкции [3], а также химико-климатические модели (ХКМ) [4].

Цель данной работы – провести анализ существующей изменчивости эритемной УФ радиации (ЭР) у поверхности Земли на основе численных экспериментов с ХКМ, разработанной в ИВМ РАН и РГГМУ (ХКМ ИВМ-РГГМУ) [4], а также по данным реанализа ERA-INTERIM и спутниковых измерений TOMS и OMI на территории Северной Евразии за период 1979–2015 гг. Кроме того, в задачу входило детальное исследование влияния естественных и антропогенных факторов на величину УФР за счет вариации озона по данным моделирования. Численные эксперименты с помощью ХКМ ИВМ-РГГМУ выполнялись по 4-м сценариям, где факторы учитывались отдельно друг от друга. Первый сценарий включает в себя влияние антропогенных выбросов галогенов, второй – влияние температуры поверхности океана и площади ее покрытия льдом, третий – влияние солнечной активности, четвертый – влияние стратосферного аэрозоля. Также был запущен сценарий с учетом совокупности всех факторов. Для оценки качества воспроизведения озона данные ХКМ ИВМ-РГГМУ по сценарию с учетом всех факторов сопоставлялись со спутниковыми данными TOMS и OMI и данными реанализа ERA-INTERIM. С использованием радиационного фактора усиления рассчитывались тренды ЭР, которые сравнивались с трендами спутниковых восстановлений эритемной УФ радиации с учетом ее дополнительной коррекции на поглощающий аэрозоль по данным аэрозольной климатологии MACv2.

Результаты экспериментов с ХКМ ИВМ-РГГМУ показали, что влияние антропогенных выбросов является наиболее существенной причиной сокращения озона и, как следствие, роста УФР над территорией Северной Евразии, в то время как влияние естественных факторов в отдельные периоды может быть также значимыми. В среднем за год на всей территории Северной Евразии наблюдаются положительные тренды ЭР, составляющие 1–2 %/10 лет. Максимальные значения трендов ЭР по данным модели наблюдаются в северных районах в весенний период и составляют порядка 3 % за декаду. Восстановленные тренды ЭР по данным реанализа ERA-INTERIM дают несколько большие значения. Наиболее выраженные положительные тренды наблюдаются в весенний и летний период для центральных районов Сибири и Европы (до 6–9 % за декаду).

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

1. UNEP. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: Assessment, 2010 // Journal of Photochemistry and Photobiology Sciences. 2011. P. 165–320.
2. Ialongo I., Arola A., Kujanpää J., Tamminen J. Use of satellite erythemal UV products in analysing the global UV changes // Atmos. Chem. Phys. 2011. Vol. 11. P. 9649–9658.
3. Chubarova N.E. UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model // Atmos. Chem. Phys. 2008. Vol. 8. P. 3025–3031.
4. Галин В.Я., Смышляев С.П., Володин Е.М. Совместная химико-климатическая модель атмосферы // Изв. РАН, сер. ФАО. 2007. Т. 43, № 4. С. 437–452.

Trends in UV radiation over Northern Eurasia according IVM-RSHU Chemical-Climate Model, satellite measurements and ERA-INTERIM reanalysis data

A.S. Pastukhova[1], N.E. Chubarova[1] (natalia.chubarova@gmail.com), E.Yu. Zhdanova[1], Y.O. Khlestova[1], A.A. Poliukhov[1], S.P. Smyshlyaev[2] (smyshl@rshu.ru), V.Ya. Galin[3] (venergalin@yandex.ru)

[1]*Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, 1 Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia*
[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky ave., 195196 Saint-Petersburg, Russia*
[3]*Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin str., 119333 Moscow, Russia*

Ultraviolet radiation (UVR) has a significant impact on the environment and human health and plays an important role in atmospheric processes [1]. For its evaluation, different methods are used: data of ground-based and satellite measurements [2], numerical simulations using exact calculation methods, models UV reconstruction [3], as well as chemistry climate model (CCM) [4].

The aim of this work is to analyze the existing variability of erythemal UV radiation (ER) at the Earth's surface on the basis of numerical experiments with IVM-RSHU CCM, developed in INM RAS and the Russian State Hydrometeorological University (RSHU) [4], ERA-INTERIM

reanalysis data and TOMS and OMI satellite measurement over the territory of Northern Eurasia for the 1979–2015 period. In addition, the task includes a detailed study of the influence of natural and anthropogenic factors on the UV level due to variations of ozone according to the simulation dataset. Numerical experiments using the IVM-RSHU CCM were performed for 4 scenarios where factors were taken into account separately from each other. The first scenario includes the impact of anthropogenic emissions of halogens, the second – the influence of sea surface temperature and its coverage area with ice, the third – influence of solar activity, the fourth – the impact of stratospheric aerosol. In addition, we launched the scenario considering all factors. To assess the quality of the ozone reproducing by model simulations the computations with the last scenario were compared with satellite and the ERA-INTERIM reanalysis data. Using modelled ozone data we calculated ER trends which were compared with trends from satellite ER retrievals based on their additional correction for absorbing aerosol according to aerosol MACv2 climatology.

The results of the experiments with IVM-RSHU CCM have shown that the influence of anthropogenic emissions is the most significant reason for the reduction of ozone and, as a consequence, for the ER growth over the territory of Northern Eurasia, while the influence of natural factors may also be significant over certain periods of time. There are positive annual ER trends, constituting about 1–2%/10 years over the territory of Northern Eurasia. Maximum trend were observed over the Northern areas in spring up to 3 % per decade. ER trends retrieved from the ERA-INTERIM reanalysis provide larger values. The most pronounced positive trends are observed in spring and summer over the central areas of Siberia and Europe (up 6–9 % per decade).

The work was partially supported by the RFBR grant 15-05-03612.

1. UNEP. Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: Assessment, 2010 // Journal of Photochemistry and Photobiology Sciences. 2011. P. 165–320.
2. Ialongo I., Arola A., Kujanpää J., Tamminen J. Use of satellite erythemal UV products in analysing the global UV changes // Atmos. Chem. Phys. 2011. Vol. 11. P. 9649–9658.
3. Chubarova N.E. UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model // Atmos. Chem. Phys. 2008. Vol. 8. P. 3025–3031.
4. Galin V.Ya., S.P. Smyshlyaev, and E.M. Volodin. Combined Chemistry–Climate Model of the Atmosphere // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2007. Vol. 43, No. 4. p. 399–412.

Временная изменчивость УФ радиации в области спектра 300–380 нм в Москве за период 1968–2016 гг.

Незваль Е.И. (einezval@mail.ru)
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. факультет, Ленинские горы 1, 119991 Москва, Россия

Начиная с ноября 1967 г., в Метеорологической обсерватории Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова проводится мониторинг суммарной УФ радиации в области спектра 300–380 нм (далее в тексте УФ радиация) с помощью различных широкополосных приборов, проградуированных по Европейским стандартам. В настоящей работе рассматривается сезонная и межгодовая изменчивость УФ радиации за весь период измерений, оценивается влияние на нее облачности, являющейся основным фактором изменчивости УФ радиации в диапазоне длин волн 300–380 нм, приводятся тренды УФ радиации за рассматриваемый период.

В среднем за период 1968–2016 гг. годовая сумма УФ радиации составила 144.8 МДж/м^2 с коэффициентом вариации V = 7 %, изменяясь от 159.5 МДж/м^2 в 1999 г. до 132.2 МДж/м^2 в 1980 г. Наибольшая изменчивость УФ радиации отмечается для зимы V = 11 % (среднее за весь период значение 8.8 МДж/м2), наименьшая – для лета V =6 % (среднее за весь период значение 68.5 МДж/м^2). За период 1968–2016 гг. максимум в годовом ходе УФ радиации приходится на июнь (24.3 МДж/м^2), смещаясь в отдельные годы на май или июль. Минимальный месячный приход УФ радиации приходится на декабрь (1.5 МДж/м^2). Межгодовая изменчивость УФ радиации обусловлена, главным образом, облачностью. Потери УФ радиации за счет облачности существенно изменяются в течение года: в среднем от 23 % в мае и августе до 45 % в октябре и ноябре. При этом изменения УФ

радиации от года к году очень велики: от 6 и 9 % до 43 и 39 % в мае и августе и от 29 и 14 % до 67 и 65 % в октябре и ноябре.

За рассматриваемый период наблюдений отмечается существенное снижение УФ радиации во второй половине 70-х–конце 80-х годов. Однако за период 1968–2016 гг. имеют место значимые (с уровнем значимости 0.05) положительные линейные тренды годовых сумм суммарной УФ радиации, сумм за теплый период года (май–сентябрь) и за календарные весну и лето. Они составляют 1.3 %/10 лет (с коэффициентом детерминации $R_2 = 0.14$), 1.4 %/10 лет ($R_2 = 0.13$), 1.8 %/10 лет ($R_2 = 0.14$) и 1.5 %/10 лет ($R_2 = 0.13$), соответственно. С конца 70-х годов положительный тренд суммарной УФ радиации выражен значительно сильнее. За период с 1978 г. по 2016 г. тренды УФ радиации для годовых сумм, для сумм за теплый период, весну и лето составляют 2.7 %/10 лет ($R_2 = 0.33$), 3.0 %/10 лет ($R_2 = 0.33$), 3.2 %/10 лет ($R_2 = 0.30$) и 3.3 %/10 лет ($R_2 = 0.36$), соответственно. Для холодного времени года тренды суммарной УФ радиации как для всего периода наблюдений, так и для периода 1978–2016 гг. отсутствуют.

Работа выполнялась при частичной поддержке гранта РФФИ №15-05-03612-а.

Temporal variability of UV radiation in the 300–380 nm spectral range in Moscow during 1968–2016

Ye.I. Nezval' (einezval@mail.ru)

M.V. Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, 1 Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia

Since November 1967, observations of global UV radiation in the spectral range 300–380 nm (UV radiation) at Meteorological Observatory of Lomonosov Moscow State University are carried out by different types of broadband UV-instruments, which are calibrated against the European standards. In this research, we consider seasonal and interannual variability of UV radiation during the entire measurement period, we have also revealed influence of clouds on UV radiation and we have determined trends of UV radiation.

During period since 1968 to 2016 average annual amounts of UV radiation is 144.8 MJ/m^2 with coefficient of variation $V = 7$ %, varying from 159.5 MJ/m^2 in 1999 to 132.2 MJ/m^2 in 1980. The largest variability of UV radiation is observed in winter $V = 11$ % (average amount of UV radiation for the whole period of observations is 8.8 MJ/m^2), the smallest variability of UV radiation is observed in summer $V = 6$ % (average amount of UV radiation during the entire observation period is 68.5 MJ/m^2). During period since 1968 to 2016, maximum of UV radiation in annual course occurred in June (24.3 MJ/m^2), shifting in some years in May or July. Minimum monthly amount of UV radiation is 1.5 MJ/m^2 in December. Interannual variability of UV radiation is mainly determined by clouds. Losses of UV radiation due to cloud cover changes significantly during the year: on average, from 23 % in May and August to 45 % in October and November. Meanwhile fluctuations of UV radiation from year to year are very high: between 6 and 9 % to 43 % and 39 % in May and August, and 29 % and 14 % to 67 % and 65 % in October and November.

During the period of observations, there is a significant decrease in UV radiation in the second half of 1970s–the end 1980s. However, there are significant (at confidence level 0.05) positive linear trends of annual amounts of UV radiation, amounts of UV radiation in warm season (May–September) and amounts of UV radiation in spring and summer in 1968–2016. These trends of UV radiation are 1.3 %/10 years (coefficient of determination $R_2 = 0.14$), 1.4%/10 years ($R_2 = 0.13$), 1.8 %/10 years ($R_2 = 0.14$) and 1.5 %/10 years ($R_2 = 0.13$), respectively. Since the end of the 1970s, the positive trend of UV radiation has been much higher. During period since 1978 to 2016, trends of annual amounts of UV radiation, amounts of UV radiation in warm period, amounts of UV radiation in spring and summer are 2.7 %/10 years ($R_2 = 0.33$), 3.0 %/10 years ($R_2 = 0.33$), 3.2 %/10 years ($R_2 = 0.30$) and 3.3 %/10 years ($R_2 = 0.36$), respectively. There are no trends of UV radiation in the cold season of year in considered periods.

This work was partially supported by RFBR grant № №15-05-03612-a.

Эффективные параметризации поглощения биологически активной УФ радиации атмосферным озоном

Фомин Б.А. (b.fomin@mail.ru), Колокутин Г.Э.
Центральная Аэрологическая Обсерватория, ул. Первомайская 3, 141700 Долгопрудный Моск. обл., Россия

Обсуждается новая техника параметризации поглощения биологически активной УФ радиации атмосферным озоном, а также предлагаются сами параметризации для компьютерного моделирования потоков УФ-А и УФ-Б радиации, модифицированных потоков радиации для оценок риска эритемы, рака, образования витамина Д в организме человека и катаракты. Эти параметризации позволяют решать уравнения переноса радиации всего в одной эффективной спектральной точке для получения интегральных характеристик биологически активной радиации в диапазоне 280–400 нм. При их использовании характерные погрешности расчётов потоков в чистой тропосфере составляют ~ 3 %. Использование предложенных параметризаций перспективно в быстрых радиационных моделях, например для on-line моделирования потоков УФ радиации для медицинских приложений. В свою очередь, обсуждаемая техника выглядит очень перспективной для повышения точности УФ радиационных кодов, основанных на методе к-распределений.

Работа поддержана грантами РФФИ № 15-01-00783 и 17-01-0020.

Effective parameterizations of absorption of biologically active UV radiation by atmospheric ozone

B.A. Fomin (b.fomin@mail.ru), G.E. Kolokutin
Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny Moscow reg., Russia

A new technique for parameterization of the absorption of biologically active UV radiation by atmospheric ozone is discussed and parameterizations themselves are proposed for computer simulations of UV-A, UV-B, erythemally/cancer/vitamin-D/cataract-weighted radiation. These parameterizations give a possibility to consider the radiative transfer equations at the single effective spectral point only to obtain the integral values of biologically active UV radiation in the spectral region from 280 to 400 nm. For flux calculations in the clear troposphere the typical errors related to these parameterizations usually do not exceed ~ 3 %. Using the proposed parameterizations is perspective in the rapid radiative transfer models, e.g. for the on-line UV flux simulations for medical applications. In turn the discussed technique seems very perspective to increase accuracy of the UV k-distribution radiation codes.

The work was supported by the RFBR grants no. № 15-01-00783 and 17-01-0020.

Глобальное поле облачности по спутниковым данным и его влияние на погоду и климат

Матвеев Ю.Л. (matveev.gpa@yandex.ru)
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Под влиянием облаков сильно изменяется радиационный баланс земной поверхности, а через него термический и влажностный режим деятельного слоя почвы и атмосферы (прежде всего ее приземного и пограничного слоев). Вследствие этого исключительно велико значение информации об облачном покрове, туманах и осадках для сельскохозяйственного производства. Формирование погоды в целом тесно связано с полями облаков и осадков (более того, не будет большим преувеличением сказать: облака и осадки – это и есть погода); характеристики (средние значения, изменение во времени и пространстве) облаков оказывают определяющее влияние на формирование и колебания климата. Представляется,

что положительных результатов в решении широко обсуждаемой на самых различных уровнях [1] проблемы климата Земли можно достичь лишь с учетом влияния облаков и водяного пара на термический режим атмосферы и земной поверхности [2, 3, 4].

Последние десятилетия ознаменовались таким важным событием в области наук о Земле, как широкое использование искусственных спутников Земли для получения информации о физическом состоянии атмосферы и земной поверхности. Наибольшее количество данных получено о полях облаков и лучистой энергии. Если наблюдения с помощью спутников по длительности все еще существенно уступают наземным, то по объему и особенно по систематичности, однородности и равномерности пространственного охвата спутниковые данные уже сейчас многократно превосходят наземные. Изменение климата Земли имеет влияние на экономические, социальные и гуманитарные аспекты деятельности человека как в отдельных регионах, так и в глобальном масштабе. Одним из важных аспектов этой проблемы является наличие энергоресурсов и их использование. Все более возрастающее значение будет иметь решение этой задачи в условиях меняющегося климата и оскудения традиционных источников энергии.

Влияние антропогенных факторов на климат городов регионов РФ и стран СНГ:

– Помимо анализа средних значений температуры в различных крупных частях Земли (материки, океаны, полушарие), основное внимание уделено температуре воздуха в 106 городах России и стран СНГ: средние 25-ти и 10-ти летние значения температуры по наблюдениям в течение 100 лет (1906–2005) гг.

– Хорошо известно, что температура воздуха в крупных городах отличается от температуры окружающей город местности. В данной работе поставлена задача – исследовать изменение температуры воздуха во времени в зависимости от антропогенных факторов, важнейшим среди которых является потребление энергоресурсов. Последние, в свою очередь, связаны с количеством населения города.

– Были выбраны периоды по 25 лет (поскольку сведения о состоянии атмосферы, согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации, приобретают климатический характер при осреднении по времени за 25–30 лет): I – 1891–1915 гг.; II – 1916–1940 гг.; III – 1941–1965 гг.; IV – 1966–1990 гг., V – 1990–2015 гг.

Основные факторы изменения климата городов

– Эти изменения температуры в крупных городах связаны как с влиянием антропогенных факторов, так и естественных. Вклад антропогенных факторов можно измерить. Такой мерой можно считать разницу температур в крупных и близлежащих малых городах и поселках.

– Наибольшее влияние антропогенных факторов в крупных городах наблюдается весной (3.43° С) и зимой (2.70° С), наименьшее летом и осенью (2.36° С и 2.31° С). В крупных городах наибольший рост температуры, произошедший зимой (4,66°С), связан с наименьшим антропогенным влиянием (57.9 %), а наименьшее изменение температуры летом (1.49° С) полностью (100.0 %) обеспечивается антропогенным фактором.

1. Кондратьев К.Я., Донченко В.К. Экодинамика и геополитика. Т. 1. Глобальные проблемы. СПб.: Изд. НИЦ Экологической безопасности РАН. 1999. 1032 с.
2. Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л. Облака и вихри – основа колебаний погоды и климата. СПб.: изд. РГГМУ. 2005. 327 с.
3. Матвеев Л.Т., Вершель Е.А., Матвеев Ю.Л. Влияние антропогенных факторов на климат городов // Ученые записки РГГМУ. 2011. № 17. С. 41–50.
4. Матвеев Ю.Л., Матвеева Е.Ю., Червякова Н.В. О роли облаков в формировании глобального поля температуры атмосферы // Ученые записки РГГМУ. 2008. № 8. С. 82-88.

The global cloud field from satellite data and its effect on weather and climate

Yu.L. Matveev (matveev.gpa@yandex.ru)
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky ave., 195196 Saint-Petersburg, Russia

The radiation balance of the earth's surface and, through it, the thermal and moisture regime of the active layer of the soil and the atmosphere (especially its ground and boundary layers) changes strongly under the influence of clouds. Because of this, the information about cloud cover, fog and precipitation is extremely important for agricultural production. Weather formation in general is closely linked with fields of clouds and precipitation (moreover, it will not be an exaggeration to say: clouds and precipitation is weather); characteristics (average values change in time and space) of the clouds have a decisive influence on the formation and fluctuations of climate. It appears that positive results in solving the problem of the Earth's climate (widely discussed at various levels [1]) can only be achieved taking into account the influence of clouds and water vapor on the thermal regime of the atmosphere and the surface [2, 3, 4].

The past decades were marked by such important event in the field of Earth sciences as wide use of artificial Earth satellites for obtaining the information about the physical state of the atmosphere and earth's surface. The largest amount of data was received on cloud fields and radiant energy. If observations from satellites in duration is still significantly inferior to the ground measurements, the volume and, especially, consistency, homogeneity and uniformity of spatial coverage of satellite data are now many times superior to the ground-based. The climate change has an impact on economic, social and humanitarian aspects of human activity, both in separate regions and on a global scale. One important aspect of this problem is the presence of energy resources and their use. The solution to this problem in the context of climate change and impoverishment of traditional energy sources will be increasingly important.

The influence of anthropogenic factors on the climate of cities of the Russian regions and CIS countries:

– In addition to analyzing the average temperature in large parts of the Earth (continents, oceans, hemisphere), the main attention is paid on the air temperature in 106 cities of Russia and CIS countries: the average 25-year and 10-year values of the temperature observations during the 100 years (1906–2005).

– It is well known that the air temperature in large cities is different from the temperature of the surrounding city area. In this work, the task is to investigate the temperature changes in time depending on anthropogenic factors, the most important of which is energy consumption. The latter, in turn, is associated with a number of the city's population.

– In the work periods as duration for 25 years have been chosen (since information about the state of the atmosphere, according to the recommendations of the World Meteorological Organization, acquire climatic character while averaging in time over 25–30 years): I – 1891–1915; II – 1916–1940; III – 1941–1965; IV – 1966–1990, V – 1990–2015.

The main factors of climate change of cities

– These changes in temperature in large cities is related both to anthropogenic factors and natural. The contribution of anthropogenic factors can be measured. Such a measure can be considered as the temperature difference in the large and nearby small cities and towns.

– The greatest impact of anthropogenic factors in the large cities occurs in the spring (3.43° C) and winter (2.70° C), the lowest – in summer and autumn (2.36° C and 2.31° C). In large cities the greatest temperature increase occurred in winter (4.66° C) is associated with the least anthropogenic influence (57.9%) and the smallest temperature change – in summer (1.49° C) –is completely (100.0 %) anthropogenic factor.

1. Kondratyev K.Ya., Donchenko V.K. Ecodynamics and geopolitics. Vol. 1. Global issues. SPb: SC Ecological Safety RAS. 1999. 1032 pp. (in Russian)
2. Matveev L.T., Matveev Yu.L. Clouds and vortices – the basis of fluctuations in weather and climate. SPb: RSHU. 2005. 327 pp. (in Russian)

3. Matveev L.T., E.A. Vershel, U.L. Matveev. Тне influense of anthropogenic factors on the climate in cities and towns // Proceedings of RSHU. 2011. No 17. P. 41–50 (in Russian).
4. Matveev Yu. L., Matveeva E.Yu., Ghervyakova N.V. On the role of clouds in shaping the global temperature field of the atmosphere // Proceedings of RSHU. 2008. No 8. P. 82–88 (in Russian).

Влияние космофизических факторов на изменение глобального климата Земли

Терез Э.И.[1] (eisage2940@gmail.com), Сосновский Ю.В.[2]
[1]*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пос. Научный, 298409 Крым, Россия*
[2]*Крымский федеральный университет им. Вернадского, пр. Вернадского 4, 295007 Симферополь, Россия*

В настоящее время проблема изменения климата Земли стала одной из основных по степени воздействия на мировое сообщество. Этой проблеме посвящены многочисленные научные симпозиумы. Из большого числа принятых рекомендаций и решений необходимо отметить два основополагающих документа:

1. Киотский протокол – международное соглашение, принятое в Киото (Япония) в декабре 1997 года. Оно обязывало развитые страны и страны с переходной экономикой в первый период действия протокола (с 1 января 2008 года по 31 декабря 2012 года) сократить или стабилизировать совокупный средний уровень выбросов 6 типов парниковых газов на 5.2 % по сравнению с уровнем 1990 года.

2. Конференция ООН по вопросу климатических изменений (Париж, 29.11–12.12.2016) – самая представительная конференции за все время переговоров по климату. Основные обязательства взяли на себя индустриальные страны. Развивающиеся страны, включая Китай и Индию, обязательств на себя вообще не брали.

Какое воздействие на глобальный климат оказали мероприятия, связанные с реализацией первого этапа Киотского протокола? Можно уверенно сказать, что никакого. Сам по себе факт очищения атмосферы Земли от любых вредных примесей (газов) – безусловно положительное явление. Но практические исследования за весь период 2000–2015 гг. показали непрерывный рост глобальной температуры Земли [1]. Чем можно объяснить потепление климата Земли в XX и в начале XXI века? В настоящее время сложилось две гипотезы, объясняющие это явление: 1) концепция антропогенного потепления, вызванная ростом со второй половины XIX века выбросов парниковых газов; 2) потепление климата, вызванное наличием двух естественных циклов – 60- и 200-летних изменений параметров земной атмосферы, связанных с ритмикой солнечной активности [2]. Обе концепции достаточно хорошо объясняют рост глобальной температуры Земли в последние полтора века, но в то же время целый ряд новых экспериментальных факторов противоречат либо одной, либо другой концепции. Так, значительное похолодание климата Земли, наблюдавшееся в XIV–XVIII веках, по общепринятому мнению зависело от изменения солнечной активности (Maunder Minimum). Точно так же согласно анализу ледяных ядер Гренландии в конце позднего Дриаса (Younger Dryas), 8850–8300 лет до н.э. [3], температура стала быстро расти и буквально в пределах нескольких десятилетий на смену тундре в Северной Европе и Канаде пришли леса. Естественно, никакого антропогенного воздействия в то время быть не могло.

В модельных расчетах недостаточно учитывается изменение Бондовского (сферического) альбедо Земли, являющегося мощным фактором воздействия на климат. Причем, изменение альбедо всего на 1 % дает радиационный эффект 3.4 Вт/м^2, что сопоставимо с эффектом удвоения CO_2. В последнее десятилетие по непонятным причинам альбедо Земли растет, что должно привести к соответствующему увеличению солнечной радиации, отражаемой обратно в космическое пространство, и, значит, к понижению глобальной температуры Земли. Это тоже не согласуется с гипотезой потепления климата, вызванного наличием естественных циклических периодов атмосферных колебаний.

В докладе обсуждаются ограничения при использовании обеих представленных гипотез.

1. Levi B.G. Earth's land surface temperature trends: A new approach confirms previous results // Physics Today. 2013. No 4. P. 17–19.
2. Замолодчиков Д.Г. Естественная и антропогенная концепции современного потепления климата // Вестник Российской академии наук. 2013. Т. 83, № 3. С. 227–235.
3. Peteet D. Global Younger Dryas? // Quatern. Int. 1995. Vol. 28. P. 93–104.

The influence of cosmophysical factors on global climate change of the Earth

E.I. Terez[1] (eisage2940@gmail.com), Yu.V. Sosnovsky[2]
[1]*Crimean Astrophysical Observatory RAS, pos. Nauchnyi, 298409 Crimea, Russia*
[2]*Vernadskyi Crimean Federal University, 4 Vernadskyi str., 295007 Simferopol, Russia*

Currently the problem of climate change has become one of the main degree of impact on the world community. Many scientific symposia are devoted to the issue. From the large number of adopted recommendations and decisions, it is necessary to note two key documents:

1. The Kyoto Protocol is an international agreement adopted in Kyoto (Japan) in December 1997. It obliges developed countries and countries with economies in transition in the first commitment period (from 1 January 2008 to 31 December 2012) to reduce or stabilize combined average emissions level of 6 types of greenhouse gases by 5.2% compared to 1990 levels.

2. The UN conference on climate (COP-21, Paris, 29.11–12.12.2016) – the most representative conference during the climate negotiations. Major commitments were made by the industrialized countries. Developing countries, including China and India, did not take commitments.

What impact on global climate was provided by the actions connected with realization of the first stage of the Kyoto Protocol? It is possible to tell surely that no influence existed. The mere fact of purification of the atmosphere of the Earth from any harmful impurities (gases) is certainly a positive phenomenon. But the practical studies during the whole period 2000–2015 showed a continuous increase in global temperature of the Earth [1]. What can explain the warming of the Earth in the XX and early XXI century? At present there are two hypotheses explaining this phenomenon: 1) the concept of anthropogenic warming caused by the increase of greenhouse gas emissions in the second half of the XIX century; 2) global warming, caused by the presence of two natural cycles – 60 and 200 years of changes in the parameters of the earth's atmosphere, associated with the rhythm of solar activity [2]. Both concepts rather well explain the increase in global temperature of the Earth in the last half century, but at the same time, a number of new experimental factors contradict either one or the other concept. Thus, a significant cooling of the Earth's climate observed in the XIV–XVIII centuries, according to popular belief, was dependent on changes in solar activity (Maunder Minimum). Similarly, according to the analysis of the ice cores of Greenland at the end of the late Dryas (the Younger Dryas), 8850–8300 BC [3], the temperature increased rapidly and, literally within a couple of decades, in Northern Europe and Canada the tundra was succeeded by forests. Of course, no anthropogenic influence could be at that time.

In model calculations the change in the Earth Spherical (Bond) Albedo (which is a powerful factor of impact on climate) is insufficiently considered. Moreover, the change of the Albedo by just 1% gives a radiative effect of 3.4 W/m^2 , which is comparable to the effect of CO_2 doubling. In the last decade due to unknown reasons, the Earth's albedo increases, that has to lead to the corresponding increase in the solar radiation reflected back in space, and, hence to decrease in global temperature of Earth. It is also not consistent with the hypothesis of global warming, caused by the presence of natural cyclic periods of the atmospheric oscillations.

In the report restrictions when using of both presented hypotheses are discussed.

1. Levi B.G. Earth's land surface temperature trends: A new approach confirms previous results // Physics Today. 2013. No 4. P. 17–19.
2. Zamolodchikov D.G. Natural and anthropogenic conception of modern climate warming // Vestnik of RAS. 2013. Vol. 83, No. 3. P. 227–235 (in Russian).
3. Peteet D. Global Younger Dryas? // Quatern. Int. 1995. Vol. 28. P. 93–104.

Исследование влияния антропогенных и естественных радиационных внешних воздействий на эволюцию температуры в Арктике: достоверность модельного воспроизведения, оценка роли вулканических аэрозолей и вероятностный прогноз на близкую перспективу

Спорышев П.В. (sporyshev@inbox.ru), Катцов В.М., Говоркова В.А.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

В докладе рассматриваются ансамблевые расчеты с современными глобальными климатическими моделями, различающиеся между собой заданием внешних воздействий на климатическую систему Земли. Для каждого модельного ансамбля оценивается статистическое соответствие модельных и наблюдаемых изменений температуры приземного воздуха в континентальных субрегионах Арктики в 20-м–начале 21-го века с учетом собственной изменчивости, присущей климатической системе. Анализируются возможности моделей в воспроизведении временной эволюции температурных изменений в Арктике, а также пространственное соответствие модельных и наблюдаемых изменений.

Анализ выполнялся на основе трех ансамблей модельных расчетов с совместными климатическими моделями проекта CMIP5: ансамбль Hist-RCP4.5 (17 экспериментов с 17 моделями), ансамбль Hist-Nat (9 экспериментов с 9 моделями) и ансамбль Hist-Volc (14 экспериментов с 6 моделями). В первом ансамбле учитывались все внешние воздействия, во втором – только естественные внешние воздействия, а в третьем – только влияние вулканического аэрозоля. В Арктике внешние воздействия оказывают влияние на временную эволюцию температуры воздуха на фоне значительной собственной изменчивости, что затрудняет выделение связанного с ними сигнала. Поэтому особое внимание было обращено на летний сезон, когда влияние собственной изменчивости минимально. Для этого сезона анализ показал существенное влияние вулканических извержений на колебания температуры приземного воздуха в регионе.

Важным фактом, установленным в настоящем исследовании, является хорошее модельное воспроизведение временной эволюции температуры приземного воздуха в Арктике – в среднем по ансамблю Hist-RCP4.5. Модели воспроизводят существенную часть дисперсии наблюдаемых межгодовых изменений (от 20 до 40 %). Несмотря на значимое проявление естественных воздействий в межгодовых колебаниях температуры, основной вклад в наблюдаемое повышение температуры на территории Арктики вносят изменения концентрации парниковых газов. Анализ пространственного соответствия результатов модельных расчетов данным наблюдений показал, что температурные изменения, полученные в ансамбле Hist-RCP4.5, хорошо соответствуют наблюдаемым (при наличии статистически значимых различий с данными наблюдений, полученных в других ансамблях). Это подтверждает пригодность используемого ансамбля климатических моделей для построения на его основе вероятностного прогноза изменения температуры приземного воздуха на территории континентальной Арктики, в том числе на близкую перспективу (2021–2040 гг.), с соответствующей оценкой вероятностных границ для изменений температуры.

Участие в настоящем исследовании П.В. Спорышева и В.А. Говорковой осуществлялось при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 16-05-00926. Участие в настоящем исследовании В. М. Катцова осуществлялось при финансовой поддержке РГНФ в рамках проекта № 15-02-00528.

Study of the influence of anthropogenic and natural radiative forcings on the Arctic temperature evolution: model simulation validity, role of volcanic aerosols and near-term probabilistic prediction

P.V. Sporyshev (sporyshev@inbox.ru), V.M. Kattsov, V.A. Govorkova
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

Ensemble simulations are considered with state-of-the-art global climate models, with different external forcings on the Earth climate system. For each model ensemble, statistical correspondence of the simulated and observed surface air temperature changes is estimated, accounting for unforced variability of the climate system, in the Arctic continental subregions in the 20th–early 21st centuries. Ability of the models to reproduce temporal evolution of the Arctic temperature, as well as a spatial correspondence between the simulated and observed changes are analyzed.

The analysis was based on the three ensembles of model simulations with coupled climate models of the CMIP5 project: the Hist-RCP4.5 ensemble (17 experiments with 17 models), the Hist-Nat ensemble (9 experiments with 9 models) and the Hist-Volc ensemble (14 experiments with 6 models). In the first ensemble, all external forcings were taken into account. Only natural external forcings were considered in the second ensemble, and only the influence of volcanic aerosol was taken into account in the third one. In the Arctic, external forcings affect the time evolution of the temperature against a background of considerable intrinsic variability, which makes it difficult to isolate the signal associated with them. Therefore, special attention was paid to the summer season, when the influence of intrinsic variability is minimal. For this season, the analysis showed a significant impact of volcanic eruptions on fluctuations in surface air temperature in the region.

An important fact established in the present study is a good reproduction of the temporal evolution of the surface air temperature in the Arctic by the model ensemble Hist-RCP4.5. The models reproduce an essential part of the observed interannual variability (from 20 to 40 %). Despite the significant manifestation of natural forcings in the interannual temperature fluctuations, the main contribution to the observed increase in temperature in the Arctic makes a change in the concentration of greenhouse gases. An analysis of the spatial correspondence of the results of model simulations to observational data has shown that the temperature changes obtained in the Hist-RCP4.5 ensemble correspond well with the observed ones (with statistically significant differences with the observation data obtained in other ensembles). This confirms the suitability of the climatic model ensemble used for constructing the probabilistic forecast of the change in the temperature of surface air in the territory of the continental Arctic, including the near future (2021–2040), with an appropriate estimate of the probability boundaries for temperature changes.

P.V. Sporyshev and V.A. Govorkova were supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 16-05-00926). V.M. Kattsov was supported by the Russian Foundation for Humanities (project 15-02-00528).

Влияние колебаний солнечной активности на аномалии температуры поверхности тропической зоны Тихого океана

Покровский О.М. (pokrov_06@mail.ru)
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Мировой океан является главным аккумулятором солнечной энергии на Земле. Связи этой энергии с компонентами климатической системы достаточно сложны и недостаточно изучены наукой. К числу наиболее важных связей можно отнести взаимодействия в системе океан–атмосфера и океан–криосфера. Наиболее важной сферой взаимодействия атмосферы и океана в количественном выражении является тропическая зона Тихого океана.

Данная работа посвящена исследованию статистических связей между среднемесячными величинами солнечной активности и температурами поверхности океана (ТПО) в тропической зоне Тихого океана. Оказалось, что обычные кросс-корреляционные связи при нулевом временном лаге оказываются достаточно слабыми. Но изучение таких характеристик для лагов, составляющих 16–18 месяцев, демонстрирует существенную статистическую значимость. Например, для значительных акваторий Тихого океана кросс-корреляции превышают уровень 0.7. Это показывает их потенциальную применимость для целей долгосрочного прогноза погоды.

The effect of solar activity fluctuations on the sea surface temperature anomalies in the tropical zone of the Pacific Ocean

O.M. Pokrovsky (pokrov_06@mail.ru)
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinskii ave., 195196 St. Petersburg, Russia

The world ocean is the main accumulator of solar energy on Earth. The connections of this energy with the components of the climate system are quite complex, versatile and insufficiently studied by science. Among the most important links include interactions in the ocean–atmosphere system and the ocean–cryosphere. The most important area of interaction between the atmosphere and the ocean in quantitative terms is the tropical zone of the Pacific Ocean.

This paper is devoted to the study of statistical relationships between the monthly averages of solar activity and sea surface temperatures (SST) in the tropical zone of the Pacific Ocean. The usual cross-correlation linkages with a zero time lag turn out to be rather weak. But the study of such characteristics for lags of 16–18 months demonstrates substantial statistical significance. For example, for wide areas of the Pacific Ocean, cross-correlation exceeds the level of 0.7. This proofs their potential applicability for the purposes of long-term and seasonal weather forecasting.

Сумеречный эффект влияния тонких высоких облаков и аэрозольных слоев на прозрачность атмосферы и климат

Беликов Ю.Е. (yury_belikov@mail.ru), Буров В.А., Котонаева Н.Г., Лапшин В.Б.
Институт прикладной геофизики им. Е.К. Федорова, ул. Ростокинская 9, 129128 Москва, Россия

Анализируется и обобщается известный сумеречный эффект в полосах поглощения озона в УФ области спектра ~ 280–330 нм, который заключается в увеличении прозрачности атмосферы при выбросах стратосферного аэрозоля в условиях сумерек. Показано, что этот эффект также будет работать в полосах поглощения в ближней ИК области. Это будет приводить к притоку радиации в указанных областях спектра при появлении высоких тонких облаков. В то же время, при небольшом поглощении или его отсутствии, например в видимой области спектра, приток радиации при появлении высоких тонких облаков уменьшится, и общий радиационный баланс во всей области спектра может быть отрицательным в случае отсутствия нижней облачности. В то же время показывается, что в условиях циклона и мощной нижней облачности может сложиться такая ситуация, когда полный радиационный баланс будет положительным при появлении тонких облаков над нижней облачностью в условиях сумерек. Этот эффект достигается благодаря различным индикатрисам рассеяния высоких тонких и нижних оптически плотных облаков. Рассеяние тонких облаков, состоящее из мелких частиц, близко к рэлеевскому, в то время как оптически плотные облака, состоящие из крупных частиц микронного размера, рассеивают по теории Ми. Однократное рассеянное излучение тонких облаков глубоко проникает в нижнюю облачность по сравнению с однократным излучением только облаков нижнего яруса при больших зенитных углах Солнца. В то же время, расчеты показывают, что многократные эффекты рассеяния сглаживают разницу в проникновении излучения к поверхности Земли в однослойной и двухслойной модели облачности. Тем не менее, при

определенном соотношении оптических толщин тонких и плотных облаков, а также определенной разнице в угловом рассеянии излучения этими облаками, будет достигаться эффект увеличения прозрачности атмосферы при появлении тонких высоких облаков в условиях циклона в сумерках.

Обсуждается некоторые возможные влияния рассматриваемого эффекта на погоду и климат. Во-первых, это возможное влияние солнечной активности на погоду. Известно, что интенсивность космических лучей модулируется солнечной активностью, а значит, модулируется и оптическая толщина стратосферного аэрозоля, источником которого является конденсация паров воды на ионах. Как следствие, солнечной активностью модулируется приток тепла к поверхности Земли и нижнем слое тропосферы в условиях циклона в средних и высоких широтах при больших зенитных углах Солнца. Приток тепла приводит к испарению капель в облаках и усилению прозрачности атмосферы из-за уменьшения облачности, что в свою очередь приводит к увеличению притока тепла и т.д. Таким образом, происходит, возможно частичное, исчезновение нижней облачности и, как результат, значительно возрастает поток излучения к поверхности Земли.

Во-вторых, обсуждается возможность влияния движения северного магнитного полюса на климат Арктики в последние десятилетия. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что быстрое движение северного магнитного полюса в последние десятилетия сопровождается потеплением в окрестности магнитного полюса радиусом несколько сотен километров. Возможный эффект потепления в Российской зоне Арктики связан с перемещением зоны вторжения галактических космических лучей в связи с движением северного магнитного полюса Земли и возрастанием потока галактического излучения вследствие уменьшения солнечной активности.

The twilight effect of the high altitude thin cloudiness and aerosol layers on the atmospheric transparency and climate

Yu.E. Belikov (yury_belikov@mail.ru), V.A. Burov, N.G. Kotonayeva, and V.B. Lapshin
E.K. Fedorov Institute of Applied Geophysics, 9 Rostokinskaya str., 129128 Moscow, Russia

The well-known twilight effect of the atmospheric transparency enhancement in the case of the aerosol injection into the stratosphere in the ozone absorption bands in the UV spectral range of ~ 280–330 nm is analyzed and synthesized. It is shown that this effect should reveal itself also in the absorption bands in the near infrared spectral region. It brings to the radiation influx in those spectral ranges under the conditions of high altitude thin clouds, or aerosol layers. At the same time in the case of low absorption, or its absence, for example in the visible spectral range, the radiation influx in the case of the thin high altitude scattering layers decreases, and the total radiation balance could be negative if the clouds at lower altitudes absent. Nevertheless, it is shown, that under cyclonic activity and thick cloud cover at low altitudes a situation is possible when the net radiation balance becomes positive if the thin high altitude scattering layers develop over the low thick ones in twilight. This effect results from the difference between scattering phase function (indicatrix) of the high altitude clouds and that of the lower heights optically dense clouds. In the visible and near infrared spectral ranges the scattering in the thin clouds which consist of small particles is close to Rayleigh function, while the optically dense clouds consisting of large micron size range particles scatter light according to the Mie law. The radiation which is singly scattered by the thin clouds penetrates deeply into the lower cloud layer by contrast with the first-order scattered radiation of the lower clouds layers for the large solar zenith angles. However, the calculations show that multiple scattering effects smooth out the difference between the radiation fluxes, which reach the Earth surface, for cases of one- and two-layer cloud models. Nevertheless, at certain relations between the optical depths of thin and thick clouds as well as certain differences in the scattering phase function between two types of clouds the effect of the transparency enhancement of the atmosphere in the case of the thin high altitude clouds, and the cyclonic activity in twilight should occur.

Some possible consequences of this effect for the weather and climate are discussed. First, that is a possible influence of the solar activity on the weather. It is a well-known fact that the cosmic rays intensity is modulated by the solar activity; therefore, the stratospheric aerosol optical depth is also modulated by it. The source of the stratospheric aerosol is the condensation of water vapor on ions. As a consequence, the solar activity modulates the heat influx at the Earth surface and in the lower troposphere under cyclonic activity in the middle and high latitudes at large solar zenith angles. The heat income gives rise to droplets evaporation in clouds and the atmospheric transparency rise because of the cloudiness decrease, which, in its turn, brings to heat influx rise, and so forth. Thus the disappearance of the lower cloudiness, which is probably partial, results in the growth of the flux towards the Earth surface.

Second, the possible effect of the North Magnetic Pole (NMP) wandering on the climate of Arctic during last decades is discussed. The experimental data prove that the rapid NMP movement in the last decades is accompanied by the warming in the circumference of several hundred kilometers from NMP. A possible warming effect in Russian Arctic is caused by the shift of the galactic cosmic rays invasion zone as a result of the NMP wandering and the intensity rise of the galactic cosmic rays in the phase of the solar activity decrease.

Связь изменения площади ледового покрова с адвективной и вихревой циркуляцией зимней тропосферы в Арктическом секторе Сибири

Логинов С.В., Харюткина Е.В. (kh_ev@mail2000.ru), Усова Е.И.
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, пр. Академический пр. 10/3, 634055 Томск, Россия

Проведено исследование связей характеристик ячеек меридиональной циркуляции (с выделением вихревой составляющей) с изменением ледовых условий в арктической зоне (севернее 70° с.ш.) сибирского сектора (60–120° в.д.) Северного полушария в конце XX и начале XXI века. Также проводился анализ изменения ледовых ситуаций в арктическом секторе Сибири с использованием данных наземных наблюдений и спутниковой информации. Для поверхностного слоя проведено сравнение адвективных потоков тепла, полученных по данным реанализа ERA Interim, JRA-55 и данных проекта CERES. Сезонные изменения площади льда в арктическом секторе Сибири были рассчитаны по данным центра NSIDC (США) за два интервала времени: 1976–1998 гг. и 1999–2014 гг. Получено, что сокращение площади ледового покрова в Баренцевом море происходит во все сезоны. В начале XXI века, скорость уменьшения концентрации льда выросла в 2.5 раза до 0.2 млн кв.км/10 лет, а зимой ~ в 4 раза до 0.26 млн кв.км/10 лет. В этот же период уменьшение площади льда в Карском море наблюдается только летом и осенью. При этом, сокращение площади морского льда в Баренцевом море происходит быстрее: величина скорости уменьшения ледового покрова здесь в 2 раза выше.

Интенсивность меридиональной ячейки циркуляции определялась как величина функции тока меридионального массопереноса рассчитанного с учетом гидростатического приближения. Также для тропосферы Северного полушария были рассчитаны вихревые составляющие функции тока, описывающие атмосферную (метеорологическую) изменчивость разных временных и пространственных масштабов. Проведенный корреляционный анализ выявил статистически значимую связь между интенсивностью циркуляционных ячеек в арктической зоне сибирского сектора Северного полушария и площадью ледового покрова в отдельные сезоны в начале XXI века. В зимний и летний сезоны произошло увеличение коэффициента корреляции между площадью льда в Баренцевом море и интенсивностью полярной ячейки до 0.5, то есть уменьшение площади льда, которое наблюдается в последние десятилетия приводит к уменьшению интенсивности ячейки. Для ячейки Феррела (циркуляция умеренных широт) статистически значимые

коэффициенты корреляции с площадью льда (– 0.6) наблюдаются только зимой в Карском море. При этом такая величина характерна как для интенсивности адвективных потоков, так и для интенсивности синоптической изменчивости (циклонических вихрей с периодом 2–7 суток. Таким образом, уменьшение площади льда приводит к увеличению интенсивности ячейки циркуляции в умеренных широтах и усилению циклонической активности. В остальных случаях влияние изменений площади льда на интенсивность вихревых составляющих величины функции тока не выявлено.

Таким образом, впервые определены оценки влияния изменения площади ледового покрытия на режим адвективной и вихревой циркуляции зимней тропосферы в Арктическом секторе Сибири. Результат, полученный на уровне линейных зависимостей, позволит улучшить долгосрочное прогнозирование изменения климата в полярных районах.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60088 мол_а_дк и комплексной программы СО РАН № II.2П «Интеграция и развитие».

The relationship of changes in ice cover extent with advective and eddy circulation in winter troposphere over the Arctic zone of Siberian sector

S.V. Loginov, E.V. Kharyutkina (kh_ev@mail2000.ru), E.I. Usova

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academichesky ave., 634055 Tomsk, Russia

The research of relationships between meridional circulation cells characteristics (including eddy component) and sea ice conditions in the Arctic part (more than 70° N) of Siberian sector (60–120° N) in the Northern Hemisphere was carried out using reanalysis and satellite data in the end of XX and in the beginning of XXI century. The comparison of advective fluxes at the surface level, derived from ERA Interim and JRA-55 reanalysis data and from CERES project data, was done. Seasonal changes of ice extent were calculate using NSIDC (USA) data over two time intervals: 1976–1998 and 1999–2014. It has been revealed that in the beginning of XXI century ice cover reduction in the Barents Sea is observed in all seasons, and the most intensive – in winter. As for the Kara Sea, the reduction is observed only in summer and autumn. The rates of ice cover decrease in the Barents Sea twice as high as in the Kara Sea.

Intensity of meridional circulation cell was determined as stream function value of meridional mass transfer, calculated with taking into account hydrostatic approximation. Also eddy components of stream function, described meteorological variability of different kind of temporal and spatial scales, were calculated for the troposphere of the Northern Hemisphere. Correlation analysis revealed statistically significant relationship between intensity of circulation cells in the Arctic zone of Siberian sector and ice sea extent in some seasons in the beginning of XXI century. There is an increase of correlation coefficient between ice sea extent in the Barents Sea and polar cell intensity up to 0.5, i.e. in the beginning of XXI century the reduction of ice cover leads to decrease of cell intensity. Statistical significant correlation coefficients between mid-latitude circulation (Ferrell cell) and ice cover (– 0.6) are observed only in winter over the Kara Sea both for advective fluxes and synoptic variability. Hence, the decrease of ice extent leads to increase of cell intensity in the mid-latitudes and to the intensification of cyclonic circulation.

Thus, for the first time the values of ice cover changes influence on advective and eddy circulation in winter troposphere over the Arctic zone of Siberian sector were derived. The result, obtained using linear relationships will allow us to improve long-term forecasting of climate changes in polar regions.

The work is supported by RFBR, according to the research project No.16-35-60088 mol_a_dk and by intergrated programme SB RAS N II.2П “Integration and development”.

О детерминированных и статистических подходах к моделированию радиационного форсинга на климат

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В., Козодеров В.В., Фомин Б.А., Фалалеева В.А., Краснокутская Л.Д., Белов В.В., Тарасенков М.В., Пригарин С.М.

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

В рамках настоящей работы сформирован научный коллектив из ведущих российских специалистов (пять докторов наук) по математическому моделированию радиационных процессов, чтобы объединенными усилиями, используя опыт и научный потенциал каждого, разработать и создать отечественный пакет научно обоснованных моделей, методов, алгоритмов и компьютерных кодов для моделирования радиационного форсинга на климат и перспективных теоретико-расчетных исследований прямых и обратных радиационных задач в проектах покорения Арктики. В СССР и России сформировалась сильнейшая в мире научная школа по теории переноса излучения, начиная с 1989 года, когда Хвольсон впервые сформулировал уравнение переноса излучения [1, 2].

Основная задача состоит в том, чтобы обобщить, унифицировать, сформулировать и представить в совокупности одномерные, двумерные, трехмерные плоско-параллельные и сферические по пространству модели переноса солнечного коротковолнового и собственного длинноволнового излучения в природных средах Земли (атмосфера, облачность, океан, земная поверхность) с учетом всех процессов взаимодействия электромагнитного излучения с веществом и особенностей среды: многократное релеевское молекулярное и анизотропное аэрозольное рассеяние, континуальное и селективное поглощение молекулярных газов и загрязняющих примесей, поляризация, рефракция, преломление, пространственная неоднородность, изотропные и анизотропные среды, гетерогенные структуры среды, разнообразные подстилающие поверхности [3–15]. Речь идет о детерминированном и статистическом подходах к аналитическому и численному решению краевых задач теории переноса излучения в приближении интегро-дифференциального кинетического уравнения Больцмана с бинарными взаимодействиями фотонов с веществом среды и интегрального уравнения, которое чаще используется в методах статистического моделирования.

Детерминированные подходы основаны на аналитических и полуаналитических методах (быстрые методы типа диффузии, квазидиффузии, двухпотоковое приближение, метод Соболева, метод средних потоков, метод дельта-Эддингтона и т.п.) и численных методах решения скалярных и векторных краевых задач для кинетических уравнений в приближении Больцмана (сеточные конечно-разностные методы, метод сферических гармоник, метод дискретных ординат, метод сложения и удвоения слоев, метод характеристик с итерациями по кратности рассеяния и их модификации с ускоряющими процедурами и т.п.). Для решения задач с учетом разнообразия подстилающей поверхности и гетерогенных сред, а также для задач дистанционного зондирования разработаны полуаналитические численные методы: метод функций влияния и пространственно-частотных характеристик, передаточные операторы для линейных и нелинейных систем, матричные и тензорные методы, методы декомпозиции и факторизации, гибридные методы и т.п.

Статистические подходы основаны на прямом статистическом моделировании и алгоритмах численного решения скалярных и векторных интегральных уравнений методом Монте-Карло и преимущественно используются для локальных расчетов и оценок, а также в задачах дистанционного зондирования. Только с разработкой инструментария для параллельных распределенных вычислений на суперкомпьютерах методы Монте-Карло стали конкурентными с детерминированными подходами для моделирования кинетических процессов во всем фазовом пространстве, т.е. для всей области среды и для всех направлений распространения излучения или наблюдений [16].

Работа поддерживается грантами РФФИ (проекты № 15-01-00783, № 17-01-00220) и проектом ОМН-3(3.5) ПФНИ РАН.

1. Иванов В.В. Столетие интегрального уравнения переноса излучения // Рассеяние и поглощение света в природных и искусственных дисперсных средах. Минск: ИФ им. Б.И.Степанова АН БССР. 1991. С. 10–36.
2. Труды астрономической обсерватории. Т. XLIV // Ученые записки СПбГУ № 428. Сер. мат. наук. Вып. 66. Доклады на Всесоюзном симпозиуме, посвященном 100-летию интегрального уравнения переноса излучения, Ленинград, октябрь 1990. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1994. 254 с.
3. Кузнецов Е.С. Избранные научные труды (в связи со 100-летием со дня рождения) / Отв. ред. и составитель Сушкевич Т.А. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. 784 с.
4. Численное решение задач атмосферной оптики // Сб. научных трудов ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. М.: ИПМ им. М.В.Келдыша АН СССР. 1984. 234 с.
5. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Иолтуховский А.А. Метод характеристик в задачах атмосферной оптики. М.: Наука. 1990. 296 с.
6. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2005. 661 с.
7. Сушкевич Т.А., Максакова С.В. Обзор методов учета земной поверхности и задачах дистанционного зондирования в расчетах радиационного поля Земли – 2. Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 1999. № 52. С. 1–32.
8. Сушкевич Т.А., Максакова С.В. Обзор методов учета земной поверхности и задачах дистанционного зондирования в расчетах радиационного поля Земли – 3. Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 1999. № 53. С. 1–32.
9. Сушкевич Т.А., Максакова С.В. Обзор методов учета земной поверхности и задачах дистанционного зондирования в расчетах радиационного поля Земли – 4. Препр. / ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 1999. № 54. С. 1–32.
10. Сушкевич Т.А., Козодеров В.В. Информационно-математические проблемы космического землеведения // В сб.: Сборник трудов "Современные проблемы механики и физики космоса", посвященный 70-летию М.Я. Марова. Москва: Наука. Физматлит. 2003. С. 563–584.
11. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В. 60 лет от первого совещания по ИСЗ до современных систем дистанционного зондирования и мониторинга Земли из космоса: информационно-математический аспект (история и перспективы) // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 7. С. 21–27.
12. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Максакова С.В. О глобальной модели радиационного форсинга на климат и дистанционное зондирование Земли // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29, № 9. С. 725–732.
13. Козодеров В.В., Косолапов В.С., Садовничий В.А. и др. Космическое землеведение: информационно-математические основы. М.: Изд-во МГУ. 1998. 576 с.
14. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А., Дарбинян Р.А. Решение прямых и некоторых обратных задач атмосферной оптики методом Монте-Карло. Новосибирск: Наука. 1968. 100 с.
15. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / Под ред. Г.И. Марчука. Новосибирск: Наука. 1976. 283 с.
16. Марченко М.М. Численное статистическое моделирование кинетических процессов диффузии, коагуляции и переноса заряженных частиц с использованием распределённых вычислений. Дис. д.ф.-м.н. Новосибирск, ИВМиМГ СО РАН. 2017. 281 с.

On deterministic and statistical approaches to the modeling of radiation forcing on the climate

T.A. Sushkevich (tamaras@keldysh.ru), S.A. Strelkov, S.V. Maksakova, V.V. Kozoderov, B.A. Fomin, V.A. Falaleeva, L.D. Krasnokutskaya, V.V. Belov, M.V. Tarasenkov, S.M. Prigarin
Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, 4 Miusskaya sq., 125047 Moscow, Russia

In the frames of this work, scientific team consisting from leading Russian professionals (five professors) in the field of mathematical modeling of radiation processes is formed to joint efforts, using the experience and scientific potential, for developing and creating the domestic package of scientific models, methods, algorithms and computer codes to simulate the radiation forcing on the climate and to study direct and inverse radiation problems in the projects of the conquest of the Arctic. In the USSR and Russia the scientific school, working in the area of of radiation transfer theory, strongest in the world, was created since 1989, when Chwolson first formulated the radiation transfer equation.

The main task is to generalize, unify, articulate and represent in the aggregate one-dimensional, two-dimensional, three-dimensional plane-parallel and spherical models of the transfer of solar short-wave and thermal long-wave radiation in the natural environments of the Earth (atmosphere, clouds, ocean, land surface), taking into account all of the processes of the interaction of the electromagnetic radiation with matter and the environment: multiple anisotropic molecular Rayleigh and aerosol scattering, continuum and selective absorption of molecular gases and impurities, polarization, refraction, spatial inhomogeneity, isotropic and anisotropic media, heterogeneous structures of the medium, a variety of underlying surface. We are talking about the deterministic and statistical approaches to the analytical and numerical solving of boundary-value problems of the radiation transfer theory in the approximation of the integro-differential kinetic Boltzmann equation with binary interactions of photons with matter environment and the integral equations, which is more commonly used in statistical simulation methods.

The deterministic approaches are based on analytical and semi-analytical methods (fast methods such as the diffusion and quasi-diffusion, the two-stream approximation, Sobolev method, average-flow method, Delta-Eddington method, etc.) and on numerical methods for solving the scalar and vector boundary value problems for kinetic equations in the Boltzmann approximation (grid finite-difference methods, method of spherical harmonics, method of discrete ordinates, method of addition and doubling of layers, method of characteristics with the iterates over the orders of scattering and their variations with accelerating procedures, etc.). The semi-analytical numerical methods (method of the influence functions and spatial-frequency characteristics of the transfer operators for linear and nonlinear systems, matrix and tensor methods, decomposition and factorization, hybrid methods, etc.) are developed for solving problems with take into account the diversity of the underlying surface and heterogeneous environments and for remote sensing problems.

The statistical approaches are based on a direct statistical modeling and algorithms for numerical solution of scalar and vector integral equations by Monte Carlo method and mainly used for local calculations and evaluations, as well as in remote sensing problems. Only with the development of tools for the parallel distributed computing on supercomputers, methods of Monte-Carlo became competitive with the deterministic approaches for simulation of kinetic processes in the whole phase space, i.e. for the entire region of the medium and for all directions of radiation propagation or observations.

The reported study was funded by RFBR according to the research projects 15-01-00783, 17-01-00220 and by project OMN-3(3.5) PFNR RAS.

Вклад континуального поглощения в ИК потоки излучения в облачных условиях

Фирсов К.М.[1] (fkm.volsu@mail.ru), Чеснокова Т.Ю.[2] (ches@iao.ru), Размолов А.А.[1], Ченцов А.В.[2]

[1]*Волгоградский государственный университет, Университетский пр. 100, 400062 Волгоград, Россия*
[2]*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия*

В данной работе проведено сопоставление расчетов восходящих длинноволновых потоков на верхней границе атмосферы и нисходящих на нижней границе атмосферы для облачных и безоблачных условий при использовании двух моделей континуума водяного пара. Первая модель, широко используемая MT_CKD2.5 [1], применялась во всем рассматриваемом спектральном интервале. Вторая модель также основывалась на MT_CKD2.5, но для окна прозрачности атмосферы в диапазоне 830–1130 см$^{-1}$ она заменялась на модель, полученную нами на основе экспериментальных данных [2]. Используемые нами модели для расчета переноса радиации в атмосфере Земли основывались на методе прямого счета, когда учитывается детальная информация о газово-аэрозольном составе атмосферы, облачности, подстилающей поверхности, метеорологическом состоянии

и т.п. Мы использовали эффективные методы параметризации характеристик молекулярного поглощения, основанные на разложении функций пропускания в ряды экспонент, что обеспечивало удобство применения метода дискретных ординат для решения уравнения переноса с учетом многократного рассеяния излучения аэрозолем и облаками.

Моделирование потоков осуществлялось для летних метеорологических условий, характерных для умеренных широт (выбирались два региона Томск и Волгоград), а также использовалась среднезональная метеомодель для тропических широт. Были рассмотрены модельные ситуации с расположением перистых облаков на высотах от 6 до 8 км с эффективным диаметром ледяных кристаллов $D = 50$ мкм при различной водности облака IWC 0.001–0.1 г/м^3. Для регионов Томска и Волгограда характеристики облачности определялись из спутниковых данных спектрорадиометра MODIS. Учет оптических характеристик облачности при моделировании атмосферного переноса излучения проводился на основе параметрических оптических моделей, используемых для моделирования климата [3].

В работе были проведены расчеты восходящих и нисходящих длинноволновых потоков, оценены радиационное воздействие (форсинги) облаков для разных моделей континуума водяного пара. Радиационный форсинг облаков рассчитывался как разница между потоками, вычисленными с учетом поглощения и излучения облаками и для безоблачной атмосферы. Результаты моделирования показали, что перистые облака приводят к дополнительному парниковому эффекту, задерживая уходящее тепловое излучение (отрицательный радиационный форсинг для уходящего излучения), величина радиационного эффекта прямо пропорциональна водности облаков. С ростом водности радиационный форсинг облаков возрастает и на нижней границе атмосферы, что проявляется в заметном возрастании нисходящего потока по величине на нижней границе атмосферы и, как следствие, к дополнительному нагреву поверхности в сравнении с безоблачной ситуацией. Для оптических тонких облаков различие между нисходящими потоками у поверхности Земли, вычисленными с разными моделями континуума H_2O достигало 4.5 Вт/м^2 (1.1 %) для тропических условий. Расхождения в восходящих потоках на верхней границе атмосферы, обусловленные различиями в моделях континуума, быстро нивелировались с увеличением оптической толщины облаков, тогда как для нисходящих потоков на нижней границе атмосферы различия сохранялись. Для облачного форсинга на нижней границе атмосферы для тропических условий различия достигали 15 %. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости уточнения модели континуума в области 8–12 мкм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта №16-45-340152 р_а и программы ФНИ государственных академий наук (проект II.10.3.8).

1. Mlawer E.J., Payne V.H., Moncet J.-L., et al. Development and recent evaluation of the MT_CKD model of continuum absorption // Phil. Trans. R. Soc. A. 2012. Vol. 370. P. 2520–2556. doi:10.1098/rsta.2011.0295
2. Baranov Yu.I. and Lafferty W.J. The water vapour self- and water-nitrogen continuum absorption in the 1000 and 2500 cm-1 atmospheric windows // Phil. Trans. R. Soc. A. 2012. Vol. 370. P. 2578–2589.
3. Fu Q., Yang P., and Sun W.B. An Accurate Parameterization of the Infrared Radiative Properties of Cirrus Clouds for Climate Models // J. of Climate. 1998. Vol. 11. P. 2223–2237.

Water vapour continuum absorption contribution to the infrared fluxes in cloudy conditions

K.M. Firsov[1] (fkm.volsu@mail.ru), T.Yu. Chesnokova[2] (ches@iao.ru), A.A. Razmolov[1], A.V. Chentsov[2]

[1]*Volgograd State University, 100 Universitetskiy ave., 400062 Volgograd, Russia*
[2]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., Tomsk, Russia*

A comparison of calculations of upward longwave fluxes at the atmosphere top and downward fluxes at the Earth’s surface for cloudy and cloudless cases with use of two water vapour continuum models was carried out. The first model, widely used MT_CKD2.5 1], was applied in the whole considered spectral region. The second model is based on MT_CKD2.5 data too, but in

the atmospheric transparency window of 830–1130 m^{-1} it was changed by our model obtained on basis of experimental data [2]. The models used for simulation of radiative transfer in the Earth's atmosphere are based on direct calculations with taking into account detailed information about gaseous-aerosol atmospheric content, cloudiness, underlying surface, meteorological conditions and so on. We used the effective methods of parameterization of molecular absorption characteristics, applying an expansion of transmission function in series of exponents that is convenient for solving of radiative transfer equation by discrete ordinates method with taking into account aerosol and cloud multiple scattering.

The fluxes were simulated for summer meteorological conditions, typical for mid latitudes (Tomsk and Volgograd regions were chosen), and mean zonal model of tropical latitudes was used. The cases of cirrus cloud location at the altitudes from 6 to 8 m with effective radius of ice particles of 50 μm and ice water content from 0.001 to 0.1 g/m^3 were considered. The cloudiness characteristics are defined from the satellite data of MODIS spectroradiometer for Tomsk and Volgograd regions. In the simulation of the atmospheric radiative transfer, the cloud optical characteristics were taking into account by mean of parametric models used in climate modeling [3].

In the work, upward and downward fluxes were calculated, and cloud radiative forcing was estimated for different models of water vapor continuum absorption. The cloud radiative forcing is determined as difference between the fluxes, calculated with taking into account of cloud absorption and emission, and for cloudless atmosphere. The results of modeling have shown that cirrus clouds produce an additional greenhouse effect, keeping of outgoing longwave radiation (negative radiative forcing for outgoing radiation), and value of the radiative effect is directly proportional to ice water content of clouds. The cloud radiative forcing rises at the atmosphere bottom when ice water content of cloud increases that reveals in an essential growth of downward flux at the atmosphere bottom. It leads to an additional heating of the surface in comparison with cloudless situation. For optically thin clouds, the difference between downward fluxes, calculated with different models of water vapor continuum absorption at the Earth's surface, reaches 4.5 $/m^2$ (1.1 %) for tropical case. The discrepancies in the upward fluxes, caused by the difference in continuum models, are rapidly decreasing with an increase of cloud optical depth, whereas the discrepancies in downward fluxes at the surface remain. The discrepancies in cloud radiative forcing at the atmosphere bottom reach to 15% for tropical case. The obtained results are evidence of necessity of water vapor continuum models refinement in the 8–12 μm spectral region.

The research was supported by the RFBR №16-45-340152-p_a, Administration of Volgograd Region and by the Program of Fundamental Scientific Research of Russian Academy of Science, (project II.10.3.8).

1. Mlawer E.J., Payne V.H., Moncet J.-L., et al. Development and recent evaluation of the MT_CKD model of continuum absorption // Phil. Trans. R. Soc. A. 2012. Vol. 370. P. 2520–2556. doi:10.1098/rsta.2011.0295
2. Baranov Yu.I. and Lafferty W.J. The water vapour self- and water-nitrogen continuum absorption in the 1000 and 2500 cm^{-1} atmospheric windows // Phil. Trans. R. Soc. A. 2012. Vol. 370. P. 2578–2589.
3. Fu Q., Yang P., and Sun W.B. An Accurate Parameterization of the Infrared Radiative Properties of Cirrus Clouds for Climate Models // J. of Climate. 1998. Vol. 11. P. 2223–2237.

Расчет приходящих коротковолновых потоков тепла для Атлантического океана с помощью параметризаций SAIL и ГГО по спутниковым данным облачности CLAAS-2

Синицын А.В. (sinitsyn@sail.msk.ru)
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Нахимовский пр. 36, 117997 Москва, Россия

Одним из источников информации о приходящих КВ потоках на поверхность океана, наравне с натурными и спутниковыми данными, может стать расчет потоков с помощью интегральных параметризаций. В работе использованы два вида параметризаций, разработанных в разное время в ГГО и ИО РАН, на основе попутных измерений приходящих КВ потоков на поверхность Атлантического океана и соответствующих им метеопараметров.

Основная задача таких параметризаций – построение климатологий КВ потоков по данным VOS. В ходе работы в качестве входных данных была использована новая облачная климатология CLAAS-2 для расчета среднесуточных полей приходящего КВ потока на поверхность Атлантики. В качестве референсных данных нами использовалась спутниковая БД приходящих КВ потоков для Атлантического Океана – SARAH.

В результате работы нам удалось сравнить влияние различных факторов на точность расчетов коротковолновых потоков. Использование данных об общем и нижнем баллах облачности в параметризации ГГО позволяет снизить систематическую ошибку в расчетах потоков на 15 Вт/м^2 по сравнению с использованием данных только об общем балле облачности. На такую же величину уменьшается и СКО этих оценок при сравнении со спутниковыми данными. Но существеннее всего на точность расчетов потоков оказывает влияние различия в архитектуре самих параметризаций (ГГО – двухшаговая, SAIL – одношаговая параметризации). При этом для некоторых районов Атлантики разница в систематической ошибке между параметризациями ГГО и SAIL составляет от 30 до 50 Вт/м^2.

Также нами проведено сравнение результатов расчетов SAIL по всему массиву БД облачности CLAAS-2, что позволило выявить сильные и слабые стороны этой параметризации для дальнейшего применения ее в расчётах КВ потоков. Для всего массива данных систематическая ошибка лежит в пределе ± 10 Вт/м2, СКО колеблется от 20 до 50 Вт/м^2 в зависимости от района Атлантического океана и соответствующего ему режима облачности. В качестве заключения можно отметить, что параметризация SAIL очень хорошо работает для общего балла облачности до 4 Окта. Дальнейшее развитие параметризации SAIL возможно путем раздельного учета прямого и рассеянного потока приходящей КВ радиации, так как в рамках роста возможных режимов облачности очень важно знать, когда прямой поток преобладает над рассеянным, а когда наоборот.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 14-50-00095, Соглашение 14.616.21.0035 и 14.616.21.0075).

Calculation of incoming shortwave fluxes for the Atlantic Ocean using SAIL and MGO parametrizations and CLAAS-2 satellite cloud data

A.V. Sinitsyn (sinitsyn@sail.msk.ru)
P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovsky ave., 117997 Moscow, Russia

One of the sources of information about incoming shortwave fluxes to the ocean surface, along with in-situ measuring and satellite data, can be the calculation of fluxes using parametrizations. Two types of parametrizations, developed at different times in the MGO and IO RAS, were used in the work. Parameterizations are based on in-situ measurements of short-wave fluxes coming to the surface of the Atlantic Ocean and the corresponding meteorological parameters. The main goal of such parametrizations is the construction of climatology for shortwave fluxes base on VOS data. As input data, a new cloud CLAAS-2 climatology was used to calculate the daily average fields of incoming shortwave fluxes to the Atlantic. As reference data, we used the satellite database of incoming shortwave fluxes for the Atlantic – SARAH.

As a result of the work, we were able to compare the influence of various factors on the accuracy of calculations of short-wave fluxes. The use of data about the total and lower clouds in MGO parametrization can reduce the systematic error in the calculation of the fluxes by 15 W /m2 in comparison with the using only the total cloud data. The RMS of these estimates decreases by the same amount when compared with satellite data. The accuracy of the flux calculations is most significantly affected by the difference in the architecture of the parametrization themselves (MGO – two-step parametrization, SAIL – one-step one). In this case, for some areas of the Atlantic, the differences in the systematic error between the MGO and SAIL parametrizations are from 30 to 50 W/m^2.

In the same way, we compared the results of SAIL calculations for the whole CLAAS-2 dataset, that revealed the strengths and weaknesses of this parametrization for its further application

in the calculation of shortwave fluxes. For the entire data set, the systematic error lies in the limit of ± 10 W/m2, the RMS varies from 20 to 50 W/m2 depending on the area of the Atlantic Ocean and the corresponding cloud regime. As a conclusion, it can be noted that SAIL parametrization works very well for a cloud cover up to 4 Octa. Further development of SAIL parametrization is possible by separately taking into account the direct and scattered flux of incoming shortwave radiation, since within the growth of possible cloud modes it is very important to know when the direct current prevails over the scattered one, and when on the contrary.

This work was supported by the RSF (Grant No. 14-50-00095, Agreement No. 14.616.21.0035 and 14.616.21.0075).

Сравнительный анализ спутниковых данных о приходящих коротковолновых потоках, представленных в CM-SAF

Синицын А.В. (sinitsyn@sail.msk.ru)
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Нахимовский пр. 36, 117997 Москва, Россия

Приходящие коротковолновые радиационные потоки являются основным источником тепла для океана. Поэтому получение глобальной или региональной картины о приходящих потоках на границе океан–атмосфера является ключом к пониманию процессов взаимодействия этих двух сред. Наиболее полно на этот вопрос отвечают спутниковые данные. Хотя спутниковая эра измерения приходящих потоков и насчитывает несколько десятков лет, но современное развитие технологий в этой области на сегодняшний момент позволяет получать данные о потоках с высоким пространственным разрешением до 0.05°x0.05° и временным разрешением, например для Атлантического и Индийского Океана, раз в 15 минут.

В работе используются спутниковые данные, предоставленные EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF). Данные представлены с 1982 по 2015 год в зависимости от типа спутника и региона покрытия. База данных CLARA-A1, полученная с помощью Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) на полярно орбитальных спутниках NOAA, является глобальной по приходящим КВ потокам. Региональные базы данных получены с помощью MVIRI/SEVIRI на борту спутников геостационарных спутников METEOSAT, SARAH для Атлантического Океана и SARAH-E для Индийского Океана.

В результате работы было получено, что для среднемесячных и среднесуточных величин SARAH завышает значения для приходящих потоков по сравнению с SARAH-E для западной части области перекрытия и занижает потоки в восточной части области перекрытия на величину порядка 25 Вт/м^2. Наибольшие величины несогласования потоков отмечаются в точках, близких к центрам областей баз данных, где СКО составляет примерно 25 Вт/м^2. Вывод, который можно сделать из сравнения – при использовании спутниковых данных о приходящих потоках солнечной радиации выбирать надо данные, наиболее близко лежащие к пространственной области ваших интересов.

В сравнительном анализе глобальных и региональных данных выделяется область, соответствующая центру видимости геостационарных спутников, в которой данные этих спутников сопоставимы с глобальными данными – разница между потоками менее 10 Вт/м^2. А на периферии области видимости спутника происходит наоборот, и данные глобального покрытия выше, чем региональные данные геостационарных спутников более чем на 10 Вт/м^2 и СКО там уже составляют величину порядка 30 Вт/м^2 для среднесуточных величин и порядка 45 Вт/м^2 для среднечасовых. Причиной таких различий, на наш взгляд, является различие в «зрении» спутника, получающего данные для расчета приходящих коротковолновых потоков.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 14-50-00095, Соглашение 14.616.21.0035 и 14.616.21.0075).

Comparative analysis of satellite data of incoming shortwave fluxes, presented in CM-SAF

A.V. Sinitsyn (sinitsyn@sail.msk.ru)
P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, 36 Nakhimovsky ave., 117997 Moscow, Russia

The incoming shortwave radiation fluxes are the main source of heat for the ocean. So the getting of global or regional data of incoming fluxes at the border of the ocean–atmosphere is the key to understanding the processes of the interaction of these two environments. The most complete answer to this question is satellite data. Satellite measurements era has only a few decades, but modern technology development provides data with high spatial (0.05°x0.05°) and temporal (15 min.) resolutions for the Atlantic and the Indian Ocean.

The satellite data provided by EUMETSAT's Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF) is used in this work. Data are presented from 1982 to 2015, depending on the type of satellite and coverage region. The CLARA-A1 database obtained with the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) on polar-orbiting NOAA satellites is global for incoming shortwave fluxes. Regional databases were obtained using MVIRI/SEVIRI on board of geostationary satellites METEOSAT, and called SARAH for the Atlantic Ocean and SARAH-E for the Indian Ocean.

It was found that monthly and daily average values of incoming fluxes in SARAH dataset overestimated fluxes compared to SARAH-E dataset for the western part of the overlap area and underestimates the fluxes in the eastern part of the overlap region by about 25 W/m^2. The largest values of the inconsistency of the fluxes are close to the centers of the database regions, where the RMS is approximately 25 W/m^2. The first conclusion – with the use of satellite data it is necessary to choose the data which are closest to the spatial area of your interest.

In a comparative analysis of global and regional data two areas of the field of view for geostationary satellites can be noted – central and peripheral. Difference between the fluxes is less than 10 W/m^2, in the central area. In the peripheral part – the global data are more than 10 W/m^2 higher and the standard deviation is about 30 W/m^2 for the daily mean and about 45 W/m^2 for the hourly mean. The reason for such differences, in our opinion, is the difference in field of view of the satellite, which retrieves data for the calculation of the incoming shortwave fluxes.

This work was supported by the RSF (Grant No. 14-50-00095, Agreement No. 14.616.21.0035 and 14.616.21.0075).

Пятьдесят лет ежечасных наблюдений за облачностью в МО МГУ

Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru), Шиловцева О.А., Бунина Н.А.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1, 119234 Москва, Россия

Представленный анализ временной изменчивости характеристик облачности базируется на климатическом обобщении ежечасных визуальных наблюдений параметров облачности в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) в светлое время суток за 50-летний период (1965–2015 гг.) и в метеорологические сроки (1954–2015 гг.).

Анализируются внутригодовая и многолетняя изменчивость количества и формы облаков всех ярусов. Рассмотрены временные изменения повторяемости безоблачного и пасмурного неба, различных градаций балла общей и нижней облачности: ясно (от 0.1 до 2.5 балла), полуясно (от 2.6 до 7.4 балла) и пасмурно (от 7.5 до 10 баллов с просветами). Оценено влияние современных изменений облачности на продолжительность солнечного сияния и приход суммарной солнечной радиации. Проведены сравнения с данными наблюдений за облаками в основные метеорологические сроки. Показано, что в настоящее время при сохранении тенденции к увеличению общей облачности проявилась тенденция к уменьшению количества облаков нижнего яруса. Облачность в нижнем ярусе уменьшается,

главным образом, из-за значительного уменьшения повторяемости сплошной облачности, что определило увеличение продолжительности солнечного сияния, уменьшение количество числа дней без Солнца и рост суммарной солнечной радиации. При этом наблюдается уменьшение рассеянной солнечной радиации, увеличение прямой и доли прямой радиации в суммарном потоке. Для современного периода стало характерным увеличение доли прямой радиации в суммарном потоке, в 1999, 2002, 2007, 2011 и 2014 г. это значение превысило 50%.

Различия в средних месячных и годовых значениях балла как нижней, так и общей облачности, полученные осреднением ежечасных наблюдений за светлое время суток и по метеорологическим срокам, находятся в диапазонах, допустимых для визуальных наблюдений.

Fifty years of cloud observations in the Meteorological Observatory of Moscow State University

E.V. Gorbarenko (catgor@mail.ru), O.A. Shilovtseva, N.A. Bunina
Meteorological Observatory of Geographical Department of Moscow State University, Leninskie Gory GSP-3, 119899 Moscow, Russia

The represented analysis of cloud characteristics temporal variability is based on the climatic generalization of cloud parameters of hourly visual observations in the Meteorological Observatory of the Moscow State University at daylight over the 50-year period (1965–2015) and also at meteorological terms (1954–2015). The inter-annual and long-term variability of cloud number and shape of all tiers have been analyzed. The temporal changes in the recurrence of the cloudless and cloudy sky as well as different gradations of the score of the general and lower cloud cover are considered: clearly (from 0.1 to 2.5 points), semi-clearly (from 2.6 to 7.4 points) and overcast (from 7.5 to 10 points). The influence of modern changes of cloudiness on the duration of sunshine together with the total solar radiation is estimated. Comparisons are made with the data of cloud observations within the main meteorological periods.

It is shown there has been a tendency of decreasing the quantity of clouds in the lower tier, while the total cloudiness have demonstrated a trend to increase at the present time. Clouds in the lower tier are decreasing due to a significant drop of the continuous cloudiness frequency, which determines the increase in the duration of sunshine, the decrease in the number of days without sun and the increase in total solar radiation. At the same time, the scattered solar radiation decreased, while the direct radiation and the direct radiation fraction increased in the total flux. The modern period is characterized by the share of direct radiation in the total flow. This value exceeded 50 % in 1999, 2002, 2007, 2011, and 2014. Differences in the mean monthly and annual values of the score of both the lower and the total cloudiness, obtained by averaging the hourly observations for daylight and meteorological time, are within the ranges permissible for visual observations.

Особенности режима ультрафиолетовой радиации и витамин D-недостаточности в 2014 и 2015 годах в Иркутске

Жданова Е.Ю. (ekaterinazhdanova214@gmail.com), Чубарова Н.Е., Решетник Л.А.
МГУ имени М.В. Ломоносова, геогр. факультет, Ленинские горы 1, 119991 Москва, Россия

Витамин D является прегормоном, рецепторы к нему есть в каждой клетке организма человека, его роль активно изучается в функционировании всех органов и систем человека [1]. Низкие уровни витамина D отмечаются у многих популяций [2]. Концентрации $25(OH)D_3$ (наиболее стабильного метаболита витамина D) низки у взрослого населения Иркутской области [3], в среднем они не достигают нижней границы рекомендованной нормы 30 нг/мл. У взрослого населения Иркутской области концентрации витамина D обычно ниже, чем у детей, поскольку дети принимают неспецифическую и специфическую

профилактику препаратами витамина D, однако 68 % из них имеют недостаточность и дефицит витамина D, что сопоставимо с результатами исследования программы «Родничок» в городах Благовещенске и Санкт-Петербурге [4].

Одним из основных внешних факторов, определяющих образование витамина D в организме человека, является солнечная ультрафиолетовая радиация (УФР). В связи с этим актуальной задачей является определение особенностей пространственного и временного распределения биологически активной УФР в Иркутской области и их сопоставление с активностью $25(OH)D_3$ в крови у жителей области. Используя спутниковые измерения, был определен приход эритемной УФР в Иркусткой области в 2014 и 2015 годах. Средняя суточная доза УФР в теплый период года была ниже в 2014 году, чем в 2015 году. Однако в сентябре 2014 года средняя суточная сумма эритемной УФР была на 11 % выше, чем в сентябре 2015 года.

По данным результатов анализов крови, выполненных в Иркутском областном клинико-консультативном диагностическом центре и в лаборатории «Инвитро», концентрации $25(OH)D_3$ в крови женщин за рассматриваемый период достигли максимума в августе–сентябре 2015 года и приблизились к оптимальному уровню 30 нг/мл. Несмотря на более высокие дозы УФР в сентябре 2014 года, наиболее близко к оптимальному уровню концентрации витамина D приблизились в сентябре 2015 года, вслед за высокими концентрациями витамина D в августе того же года. Более высокий уровень УФР в августе 2015 года (до 3 %) и особенности его суточного хода, когда наиболее существенные превышения УФР в 2015 году по сравнению с 2014 годом по данным наземных измерений наблюдались в более комфортное время (утреннее и ранее вечернее время при высотах Солнца менее 40°), когда люди могли находиться на Солнце, не боясь получить солнечных ожогов, вероятно способствовали росту концентраций витамина D. Используя модельные расчеты биологически активной УФР, были определены периоды в течение года, когда создаются условия для образования витамина D, исходя из климатологических особенностей городов Сибири и Дальнего Востока.

Исследование частично поддержано грантом РФФИ № 15-05-03612.

1. Захарова И.Н. Витамин D: неизвестное об известном. Интервью с проф. И.Н. Захаровой // РМЖ. 2015. №3. С. 118.
2. Pludowski P. et al. Vitamin D status in central Europe // Int. J. Endocrinology. 2014. Vol. 2014.
3. Спасич Т.А., Лемешевская Е.П., Решетник Л.А. и др. Гигиеническое значение дефицита витамина D у населения иркутской области и пути его профилактики // Бюл. Вост.-Сиб. НЦ СО РАМН. 2014. Т. 100, № 6. С. 44–47.
4. Захарова И.Н., Мальцев С.В., Боровик Г.В. и др. Результаты многоцентрового исследования «РОДНИЧОК» по изучению недостаточности витамина D у детей раннего возраста в России. // Педиатрия. 2015. Т. 94, № 1. С. 62–67.

Particularities of ultraviolet radiation and vitamin D deficiency in 2014 and 2015 in Irkutsk

E.Yu. Zhdanova (ekaterinazhdanova214@gmail.com), N.E. Chubarova, L.A. Reshetnik
M.V. Lomonosov Moscow State University, Geogr. Faculty, 1 Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia

Vitamin D is a prehormone, there are receptors to it in every cell of the human body, its role in the functioning of all the human organs and systems is actively studied [1]. Low levels of vitamin D are observed in many populations [2]. Concentrations of $25(OH)D_3$ (the most stable metabolite of vitamin D) are low in adult population of Irkutsk region [3], on average they do not reach the lower limit of the recommended concentration 30 ng/ml. In adult population of Irkutsk Region, vitamin D concentrations are usually lower than in children, because children take nonspecific and specific prevention with vitamin D preparations. But 68 % of the children have vitamin D insufficiency and deficiency, which is comparable to the results of "Rodnichok" study in Blagoveshchensk and St. Petersburg [4].

One of the main external factors determining production of vitamin D in the human body is solar ultraviolet radiation (UVR). In this regard, the actual task is to determine particularities of

spatial and temporal distribution of biologically active UVR in Irkutsk region and their comparison with activity of $25(OH)D_3$ in blood samples of residents of the region. Using satellite measurements, coarse of erythemal UVR in Irkutsk region in 2014 and 2015 was determined. The average daily dose of UVR in warm period of year was lower in 2014 than in 2015. However, in September 2014, the average daily dose of erythemal UVR was 11 % higher than in September 2015.

According to the results of blood samples performed at Irkutsk Regional Clinical and Diagnostic Diagnostic Center and at Invitro laboratory, concentrations of $25(OH)D_3$ in blood of women reached maximum in August–September 2015 and approached the optimal level of 30 ng/ml. Despite higher doses of UVR in September 2014, the closest to the optimal level of vitamin D concentrations approached in September 2015, following high concentrations of vitamin D in August of the same year. The higher level of UVR in August 2015 (up to 3 %) and the peculiarities of its daily coarse, when the most significant excesses of UVR in 2015 compared to 2014 according to ground-based measurements were observed at the most comfortable time of day (morning and early evening time at sun elevation less than 40 degrees), when people could be on the sun without fear of getting sunburn, probably, contributed to increase vitamin D concentrations. Using model calculations of biologically active UVR, periods of the year, when favoriable conditions for vitamin D production could be exist, were determined based on the climatological features of the cities of Siberia and the Far East.

The study was partially supported by RFBR grant No. 15-05-03612.

1. Zakharova I.N. Vitamin D: The unknown is about the known. Interview with Prof. I.N. Zakharova // RMJ. 2015. № 3. P. 118 (in Russian).
2. Pludowski P. et al. Vitamin D status in central Europe // Int. J. Endocrinology. 2014. Vol. 2014.
3. Spasich T.A., Lemeshevskaya E.P., Reshetnik L.A., et al. Hygienic value of vitamin D deficiency in Irkutsk region and ways of its prevention. Bull. East Siberian SC SB RAMS. 2014. Vol. 100, No 6. P. 44–47 (in Russian).
4. Zakharova I.N., Maltsev S.V., Borovik G.V., et al. Results of a multicenter research «Rodnichok» for the study of vitamin D insufficiency in infants in Russia //Pediatrics. 2015. Vol. 94, No 1. P. 62–67 (in Russian).

О возможности совместного использования сумм солнечной радиации, полученных разными способами, при базовых исследованиях радиационного климата

Шанина И.Н., Трофимова О.В. (trofimovaoxanav@yandex.ru), Задворных В.А.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Для использования данных актинометрических наблюдений при базовых исследованиях радиационного климата и оценке его изменений, и гелиоэнергетических ресурсов необходимо наличие достаточно плотной сети актинометрических станций и единство методик расчета сумм радиации на каждой станции для обеспечения их сравнимости. Как известно, сеть актинометрических станций России достаточно редкая и отличается крайней неравномерностью. Кроме того, в данных суточных (и соответственно месячных) сумм радиации имеется неоднородность, обусловленная различными способами их получения – по самописцам и по наблюдениям в стандартные актинометрические сроки (методом «трапеций»). Все это делает чрезвычайно актуальным исследование возможности совместного использования разнородных (по методу получения сумм) данных актинометрической сети для решения различных научных и прикладных задач.

Цель данной работы – рассмотреть возможность удлинения рядов солнечной радиации и заполнения пропусков в наблюдениях без нарушения их однородности с использованием параллельных наблюдений по самописцам и в актинометрические сроки, для получения достоверных значений «норм» за периоды 1961–1990 гг., 1971–2000 гг. и 1981–2000 гг., которые приняты в качестве базовых при современных исследованиях климата. С целью увеличения пространственной плотности наблюдений за солнечной радиацией при решении

различных задач рассмотрены предварительные результаты привлечения спутниковой информации путем сопоставления ее с данными наблюдений.

The possibility of joint use of solar radiation sums obtained by different methods in basic researches of radiation climate

I. Shanina, O. Trofimova (trofimovaoxanav@yandex.ru), V. Zadvornykh
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

To use the actinometric observations in basic studies of the radiation climate and to assess its changes and solar energy resources, it is necessary to have a sufficiently dense network of actinometric stations and the unity of the methods for calculating the sums of radiation at each station to ensure their comparability. It is known, that the Russian actinometric network is quite rare and is characterized by extreme unevenness. In addition, there is a inhomogeneity of the daily (and, respectively, monthly) radiation amounts due to different methods of obtaining them – by the recorders and observations into standard actinometric time intervals (by the trapezium method). All this makes highly urgent the research of the possibility of joint use of the heterogeneous (by the method of calculating the sums) actinometric network data for solving various scientific and applied problems.

The purpose of this work is to consider the possibility of extending of the solar radiation series and filling the gaps in observations without disrupting their homogeneity, using parallel observations on recorders and into actinometric time intervals. It will allow to calculate reliable values of "norms" for the periods 1961–1990, 1971–2000 and 1981–2000, which are accepted as basic in modern climate studies. In order to increase the spatial density of observations of solar radiation for solving various problems, the preliminary results of the satellite information using are considered by comparing it with the observational data.

Empirical dependences between global UV and global solar irradiances obtained from the multiyear direct observations at the ARG station, Kishinev (Moldova)

Aculinin A.A. (akulinin@phys.asm.md), Smicov V.P.
Institute of Applied Physics of the Academy of Sciences of Moldova, 5 Academiei str., MD-2028 Kishinev, Moldova

The aim of the research is to derive a simple relationships between the broadband components of global UV(-B, -A, erythemal) irradiance and global shortwave (SW) solar irradiance onto the horizontal plane from direct observations at the ground-based station. Radiometric sensor CM-11 (200–3000 nm) was used to measure global SW solar irradiance E_{SW}. Two sensors of UV-S-B-C (280–315 nm) type and one sensor of UV-S-A-C (315–400 nm) type were used to measure global UV-B and UV-A solar irradiances: E_{UVB} and E_{UVA}. Erythemal irradiance E_{UVery} was derived from UV-B irradiance by using of the lookup tables with the pre-calculated adjustment factors after the calibration at the Kipp&Zonen. These factors were computed as convolutions between the UV spectral response function for each of sensors and CIE 1987 Erythemally weighting spectral function for the set of zenith angles and total ozone content values. We shall deal with time-series of the daily mean values of UV and SW solar irradiances, which are designated as $\langle E \rangle_d$. Cloud conditions are also taken into account: two datasets are generated for cloud-free (CF) and for all-sky (AS) conditions, respectively. Time-series of daily mean values of UV and SW solar irradiances is composed of data obtained from of continuous observations in the course of period from 2004 to 2015.

The following power-type formula is used for approximation of the dependence between UV(in a different broadband subranges) and SW solar irradiances:

$Y = a X^b$, where $Y \in \{<E_{UVB}>_d, <E_{UVA}>_d, <E_{UVery}>_d\}$ and $X \in \{<E_{SW}>_d\}$.

Choice of this formula is also due to the fact that it satisfies the condition $Y = 0$ at $X = 0$. Parameters (a,b) of the applied power-type approximation for the time-series of observational data at all-sky and cloud-free conditions in the course of multi-year period (2004–2015) are presented below:

(AS) a=0.2275, b=0.7982, R^2=0.987 for UV-A;
a=0.0003876, b=1.2663, R^2=0.969 for UV-B;
a=0.0000684, b=1.2061, R^2=0.972 for UV_{ery};

(CF) a=0.1499, b=0.8662, R^2=0.973 for UV-A;
a=0.0000725, b=1.5510, R^2=0.961 for UV-B;
a=0.0000134, b=1.4826, R^2=0.961 for UV_{ery}.

All measurements were performed at the ground-based solar radiation monitoring station placed in an urban environment at the Institute of Applied Physics (IAP) of ASM, Kishinev, Moldova (47.001°N, 28.816°E), http://arg.phys.asm.md.

Динамика параметров приземного слоя атмосферы во время опасных метеорологических явлений конвективного происхождения

Пустовалов К.Н. (const.pv@yandex.ru), Кобзев А.А., Ланская О.Г., Нагорский П.М., Тельминов А.Е.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр. 10/3, 634055 Томск, Россия

Проведено комплексное исследование динамики метеорологических, турбулентных и электрических параметров, а также характеристик осадков и аэрозоля в приземной атмосфере. Измерения проведены на различных высотах (2, 8 и 28 м) от подстилающей поверхности в период с июня по сентябрь 2016 г. Рассмотрены случаи прохождения кучево-дождевых облаков, в том числе мезомасштабных конвективных комплексов, и сопутствующих им неблагоприятных и опасных метеорологических явлений конвективного происхождения (гроза, шквал, сильный ветер, сильный ливневой дождь).

Выявлено: резкое усиление плотности воздуха при прохождении кучево-дождевых облаков, запаздывание времени начала шквала с понижением высоты, рост полной энергии турбулентных движений в момент прохождения фронта порывов, запаздывание шквалистого повышения ветра относительно возрастания напряженности электрического поля в подавляющем большинстве случаев, быстрое падение концентрации аэрозоля и рост электропроводности воздуха в моменты выпадения интенсивных ливневых осадков.

Исследования поддержаны грантом Президента Российской Федерации (МК-179.2017.5).

Dynamics of parameters of the surface layer of the atmosphere during dangerous convective weather phenomena

K.N. Pustovalov (const.pv@yandex.ru), A.A Kobzev., O.G. Lanskaya, P.M. Nagorskiy, A.E. Telminov

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academic ave., 634055 Tomsk, Russia

The comprehensive study of dynamics of meteorological, turbulent and electrical parameters, as well as the characteristics of precipitation and aerosol in the atmospheric surface layer was carried out. Measurements at different heights (2.8 and 28 m) from the underlying surface during the period from June to September 2016 were carried out. Cases of passage of cumulonimbus clouds, including mesoscale convective complexes, accompanying by unfavorable and dangerous weather phenomena of convective origin (thunderstorm, squall, strong wind, rain shower) are considered.

It was detected: a sharp increase in the density of air during the passage of cumulonimbus clouds; a delay in the beginning time of the squall with a decrease in altitude; an increase in the total energy of turbulent motions during the passage the gust front; the lag of the squall beginning time relative to the electric field strength increase time in the vast majority of cases; the rapid decrease of aerosol concentration and the increase of air electrical conductivity at the time of heavy rainfall precipitation.

Studies are supported by grant of the President of the Russian Federation (МК-179.2017.5).

Вариации параметров электродного слоя атмосферы по экспериментальным и модельным данным, зарегистрированных при прохождении Cb и сопутствующих ливневых осадков

Нагорский П.М.[1] (npm_sta@mail.ru), Морозов В.Н.[2],
Пустовалов К.Н.[1] (const.pv@yandex.ru), Смирнов С.В.[1]
[1]*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр. 10/3, 634055 Томск, Россия*
[2]*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия*

Представлены результаты исследования динамики градиента потенциала электрического поля и полярных электрических проводимостей в приземном слое атмосферы при прохождении кучево-дождевых облаков и выпадении ливневых осадков. Выявлены характерные особенности вариаций параметров электродного слоя в моменты прохождения кучево-дождевых облаков и выпадения ливневого дождя и снега.

Установленные закономерности стали основой для построения численной модели электрофизических процессов в электродном слое под влиянием характерных изменений градиента потенциала электрического поля, обусловленных прохождением кучево-дождевых облаков и ливневых осадков (дождь, снег) различной интенсивности. В предложенной модели электрическое поле является вынуждающей силой, гидрометеоры – стоком аэрозолей, а вариации естественной радиоактивности, связанные с прохождением кучево-дождевых облаков и ливневых осадков, – источником легких ионов. Такой подход позволил провести модельный анализ реальных ситуаций, в которых зарегистрированы вариации концентраций лёгких ионов, градиента потенциала, полярных электропроводностей, плотности объёмного заряда.

Исследования поддержаны грантом Президента Российской Федерации (МК-179.2017.5).

Variations of the atmosphere electrode layer parameters during the passage of Cb with shower precipitations according to experimental and model data

P.M. Nagorskiy[1] (npm_sta@mail.ru), V.N. Morozov[2],
K.N. Pustovalov[1] (const.pv@yandex.ru), and S.V. Smirnov[1]
[1]*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academic ave., 634055 Tomsk, Russia*
[2]*A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia*

The results of the study of the electric field potential gradient dynamics and the polar electric conductivities dynamics in the atmospheric surface layer during the passage of cumulonimbus clouds and the showers are presented. Characteristic features of the electrode layer parameters variations during the passage of cumulonimbus clouds with rain/snow shower precipitations are detected.

The established regularities is the basis for constructing a numerical model of electrophysical processes in the electrode layer under the influence of electric field potential gradient characteristic changes caused by the passage of cumulonimbus clouds and showers (rain or snow) of varying intensity. In the proposed model, the electric field is the driving force, the hydrometeors are the aerosol runoff and the natural radioactivity variations (which are connected with the passage of cumulonimbus clouds and rainfall) are associated with a source of light ions. This approach allowed us to carry out a model analysis of real situations in which the variations of light ion concentrations, a potential gradient, polar conductivities and space charge density were recorded.

Studies are supported by grant of the President of the Russian Federation (МК-179.2017.5).

Дистанционное зондирование в изучении городского пограничного слоя

Юшков В.П. (yushkov@phys.msu.ru)
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. факультет, Ленинские горы 1, 119991 Москва, Россия

В докладе анализируется роль региональных синоптических моделей в улучшении понимания свойств пограничного слоя атмосферы. Показано, каким образом дистанционные средства зондирования пограничного слоя могут служить инструментом обратного анализа (hindcasting) мезомасштабных моделей. Предложена методика оценки качества воспроизведения пограничного слоя в этих моделях по данным дистанционных измерений.

Проведенный анализ показал, что измерения скорости ветра в разных точках города достаточно хорошо коррелируют на высотах более 200 м лишь после тщательной коррекции ошибок измерений. Модели же недооценивают пространственную изменчивость скорости ветра на таких высотах. Разница температур между парами точек в сканирующих дистанционных измерениях может содержать коррелирующую по высоте значимую ошибку. Избежать этой погрешности позволяет сравнение вертикальных градиентов температуры. Модели, использованные для сравнения, сильно переоценивают пространственную изменчивость вертикальных градиентов. Лучше всего модели воспроизводят временные приращения температуры. Преимуществом временных приращений, при сопоставлении с данными наблюдений, является то, что они свободны от стационарной ошибки измерений. В модельных распределениях все же остается значимая разность, по сравнению с данными измерений, что позволяет сравнивать схемы параметризации между собой и проводить выбор лучшей из них.

Предлагаемая методика *вероятностного* сопоставления, то есть сопоставления распределений пространственных различий на масштабах мегаполиса между модельными и инструментальными временными рядами на ``климатическом" ансамбле синоптических состояний, может быть полезной для оценки качества мезомасштабных моделей.

Remote sensing in the urban boundary layer study

V.P. Yushkov (yushkov@phys.msu.ru)
M.V.Lomonosov Moscow State University, Physical Faculty, 1 Leninsky gory, 119991 Moscow, Russia

We analyze how regional synoptic models can help us to improve the knowledge of urban boundary layer and show how the remote sensing of the boundary layer can be used to verify the mesoscale models. Proposed method of the probability distributions comparison of spatial differences on the mesoscale (city scale) by model and instrumental time series, on the ensemble of synoptic states, can be useful for the quality assessing of mesoscale models. Air temperature differences between pairs of points in the remote sensing measurements may include potentially a significant height-correlated error. The comparison of vertical temperature gradients allows avoiding this error. The models used for comparison overestimate the spatial variability of vertical gradients.

Our study shows that measurement data of wind speed at different points of the city are correlated well at altitudes of more than 200 m, but only after careful correction of measurement errors. The models underestimate the spatial variability of wind speed at these altitudes. Model simulation of the time increments of temperature is good. The advantage of temporal increments, when compared with observational data, is that they are free from a stationary measurement error. There is still a significant difference in the model distributions, in comparison with the measurement data, which makes it possible to compare the parameterization schemes and to choose the best.

Оценка интенсивности эмиссий CO_2, CH_4 и CO для пригорода Санкт-Петербурга

Макарова М.В.[1] (zaits@troll.phys.spbu.ru), Арабаджан Д.К.[1], Фока С.Ч.[1], Парамонова Н.Н.[2], Панкратова Н.В.[3], Поберовский А.В.[1]

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

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

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

Evaluation of CO_2, CH_4 and CO area fluxes for suburban territory of Saint-Petersburg

M.V. Makarova[1] (zaits@troll.phys.spbu.ru), D.K. Arabadzhian[1], S.Ch. Foka[1], N.N. Paramonova[2], N.V. Pankratova[3], A.V. Poberovskii[1]

[1]*Saint-Petersburg State University, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

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

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

Carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), and carbon monoxide (CO) are the most abundant carbon cycle gases in the atmosphere. Accurate evaluation of their fluxes from the Earth's surface to the atmosphere is critical for the correct climate modelling. Estimation of area fluxes was carried out using the joint analysis of CO_2, CH_4 and CO nocturnal accumulation events in the boundary layer observed at the Peterhof site (SPbU) and box model approach. Mean area fluxes of CO_2, CH_4 and CO obtained for the suburban territory of St. Petersburg for 2014–2015 are of (6100 ± 4000), (44 ± 27) and (90 ± 100) t/(km^2·yr), respectively. Annual variations of carbon monoxide emissions have the maximum of (160 ± 120) t/(km^2·yr) during November–February, and the minimum of (30 ± 20) t/(km^2·yr) for June–July. Analysis of CO/CO_2 area fluxes ratio allowed us to reveal the typical anthropogenic sources for Peterhof: traffic, natural gas combustion, and using of wood burning stoves in mansions located in the neighbourhood of measurement site.

SPbU team was funded by the Russian Science Foundation, project #14-17-00096. N. Pankratova (IAP RAS) was supported by Russian Foundation for Basic Research grant #16-35-50123_mil_nr. Measurement facilities were provided by Geo Environmental Research Center "Geomodel" of Saint-Petersburg State University.

Учет атмосферного ослабления при стендовых испытаниях оптико-электронной аппаратуры

Осипов В.М. (v.osipov@list.ru), Борисова Н.Ф., Малов А.М.

Научно-исследовательский институт оптико-электронного приборостроения, Ленинградская ул. 29 (Т), 188540 Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

При испытаниях и аттестации оптико-электронной аппаратуры на испытательных стендах необходимо учесть радиацию, поглощенную атмосферным воздухом на оптической трассе такого стенда. Поскольку протяженность трассы может составлять десятки метров, спектральное поглощение в отдельных интервалах составляет десятки процентов. Современные базы данных и методики расчета позволяют достаточно точно учесть это поглощение. Однако при использовании такой программы для аттестации приборов встает задача оценки ее метрологических характеристик.

В докладе представлено краткое описание программы «Trans», разработанной для решения указанной задачи. Приведены оценки погрешности расчета отдельных составляющих вычислительного алгоритма. Рассмотрено влияние ПО на метрологические характеристики средств измерений. Для оценки такого влияния используется метод

сличения, основанный на применении программы сопоставимого уровня [1]. Для численной оценки такого влияния были рассчитаны значения исполнительной характеристики алгоритма [2]. Эти значения характеризуют относительное отличие результатов расчетов по тестируемой программе от результатов расчетов по опорной программе для согласованного «эталонного» набора входных параметров. Полученные результаты использованы при выполнении работ по сертификации программы в рамках «Системы добровольной сертификации программного обеспечения средств измерений» (ФГУП ВНИИМС).

1. Михайленко С.Н., Бабиков Ю.Л., Головко В.Л. Информационно-вычислительная система «Спектроскопия атмосферных газов». Структура и основные функции // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18, № 9. С. 765–776.
2. Cook H.R., Cox M.G., Dainton M.R., Harris R.M. Testing spreadsheets and other packages used in metrology. A case study / Report to National Measurements System Policy Unit. September 1999.

Consideration of atmospheric attenuation at bench testing of optoelectronic devices

V.M. Osipov (v.osipov@list.ru), N.F. Borisova, A.M. Malov

Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering, 29 Liter T Leningradskaya str., 188540 Sosnovy Bor, Leningrad region, Russia

In testing and certifying the optoelectronic instrumentation at test benches, the radiation absorbed by atmospheric air along the optical path of the bench should be considered. Since length of the path may be tens of meters, spectral absorption at certain intervals makes up tens of percents. Modern databases and calculation techniques allow us to consider this absorption to an adequate accuracy. However, in using the program for instrument certification, a problem of evaluation of its metrological characteristics arises.

The report presents a brief description of "Trans" program, which was developed to solve this problem. Estimates of calculation errors for individual components of the computational algorithm are given. Influence of the software on metrological characteristics of the measurement system is considered. To assess this effect, we use a method of comparison based on a program of comparable level [1]. For numerical evaluation of the influence, the values of the executive characteristic of the algorithm are calculated [2]. These values describe the relative difference between the results obtained from the tested program and the reference program for the agreed "reference" set of input parameters. The results in hand are used for certification of the program in compliance with "System of Facultative Certification of Software for Measurement Instrumentation" (FSUE “VNIIMS”).

1. Mikhailenko S.N., Babikov Yu.L., Golovko V.L. Data-processing system “Spectroscopy of atmospheric gases”. Structure and principal functions // Optics of Atmosphere and Ocean. 2005. V.18, No. 9. P. 765–776 (in Russian).
2. Cook H.R., Cox M.G., Dainton M.R., Harris R.M. Testing spreadsheets and other packages used in metrology. A case study / Report to National Measurements System Policy Unit. September 1999.

Формирование устойчивого атмосферного пограничного слоя в результате радиационного выхолаживания в Арктике в зимний период

Махотина И.А. (ir@aari.ru), Макштас А.П., Чечин Д.Г., Соколов В.Т.

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

В работах [1, 2] на основе наблюдений во время измерительной кампании Surface Heat Budget of the Arctic (SHEBA) в период 1998–1999 гг. было продемонстрировано, что атмосферный пограничный слой (АПС) в Центральной Арктике существует преимущественно (в 87 % случаев) в двух состояниях, сильно отличающихся друг от друга по многим параметрам. В частности, в 66 % случаев атмосферный пограничный слой характеризуется низкой приземной температурой, отсутствием облачности, мощной

приземной температурной инверсией и сильным радиационным выхолаживанием. Другим типичным состоянием атмосферы, наблюдающимся в 21 % случаев, является более теплый, влажный и глубокий АПС при наличии облачности. Очевидно, что для понимания физических процессов, определяющих приземный температурный режим надо льдом в Арктике, необходимо отдельное изучение двух указанных выше режимов. Также, адекватность численных моделей необходимо оценивать отдельно для каждого из этих режимов. Однако, на настоящий момент известно [2], что большинство климатических моделей не воспроизводят указанного бимодального распределения ключевых метеорологических параметров над морским льдом в Центральной Арктике.

В настоящем исследовании основной целью является подробное изучение динамики АПС в случае выхолаживания при ясном небе в период полярной ночи. Описаны характерные значения метеорологических параметров при ясном небе и сплошной облачности, а также в процессе формирования устойчивого АПС при исчезновении облачности. Исследуемые величины: разность температур в приземном слое, скорость ветра, масштаб длины Монина-Обухова, балковое число Ричардсона, высота АПС. Для оценки указанных параметров использованы данные наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс-35, 37, 39».

1. Stramler K., Del Genio A.D., Rossow W.B. Synoptically Driven Arctic Winter States. J. Climate. 2011. Vol. 24, No 6. DOI: 10.1175/2010JCLI3817.1.
2. Pithan F., Medeiros B., Mauritsen T. Mixed-phase clouds cause climate model biases in Arctic wintertime temperature inversions. 2014, Climate dynamics, 2014. Vol. 43, No 1–2. P. 289–303.

Formation of the atmospheric stable boundary layer as a result of radiative cooling in the Arctic winter

I.A. Makhotina (ir@aari.ru), A.P. Makshtas, D.G. Chechin, V.T. Sokolov
Arctic and Antarctic Research Institute, 38 Bering str., 199397 Saint-Petersburg, Russia

On the basis of observations during the measurement campaign Surface Heat Budget of the Arctic (SHEBA) in 1998–1999 it was demonstrated [1, 2] that the atmospheric boundary layer (ABL) in the Central Arctic exists mainly (in 87 % cases) in two states that are very different from each other in many parameters. In particular, in 66 % of cases, atmospheric boundary layer is characterized by low ground temperature, clear sky, significant temperature inversion and radiation cooling of the surface. Another typical atmospheric conditions, observed in 21% cases, are warmer, wetter and deeper ABL and clouds. Obviously, to understand the physical processes, determining the surface temperature regime in the Arctic, we need to study of the two above modes separately. However, the most of climate models nowadays do not reproduce this bimodal distribution of key meteorological parameters over sea ice in the Central Arctic [2].

In this study, the main goal is to investigate the dynamics of ABL in the case of surface cooling under clear sky during polar night. Typical meteorological parameters under clear sky and total cloudiness are described, as well as during the formation of stable ABL with the disappearance of clouds. These meteorological parameters are temperature difference in the surface layer, wind speed, the Monin-Obukhov length, the bulk Richardson number, the height of ABL. To assess these parameters the data of "The North Pole-35, 37, 39" drifting stations observations have been used.

1. Stramler K., Del Genio A.D., Rossow W.B. Synoptically Driven Arctic Winter States. J. Climate. 2011. Vol. 24, No 6. DOI: 10.1175/2010JCLI3817.1.
2. Pithan F., Medeiros B., Mauritsen T. Mixed-phase clouds cause climate model biases in Arctic wintertime temperature inversions. 2014, Climate dynamics, 2014. Vol. 43, No 1–2. P. 289–303.

Изменчивость кислотности и состава осадков в условиях городской среды

Еремина И.Д. (meteo@rambler.ru)
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. факультет, Ленинские Горы 1, 119991 Москва, Россия

Химический состав атмосферных осадков был проанализирован в Московском государственном университете на основе мониторинга каждого случая выпадения влажных осадков в период с 1982 года по настоящее время. Каждый год мы получаем около 100–150 проб дождя и снега. В пробах определяются концентрации ионов сульфата, гидрокарбоната, хлорида, нитрата, кальция, магния, натрия, калия и аммония, а также pH и удельная электропроводность.

Анализ химического состава осадков и его кислотности, проведенный в метеорологической обсерватории МГУ, свидетельствует о значительной сезонной и межгодовой изменчивости. Весь более чем 35-летний период наблюдений можно разделить на 3 части с различной кислотностью, изменением минерализации и различными преобладающими ионами. Количество проб кислотных осадков с pH < 5 в среднем составляет около 21 % в год. В 1999–2004 годах практически не было проб кислотных дождей. До 1999 года и в последний период, начиная с 2005 г., мы собираем 25–30 % проб кислотных дождей в год. Средневзвешенное многолетнее значение pH равно 4.9, а средняя величина суммарной минерализации осадков составляет 17.5 мг/л. Среднегодовые значения минерализации осадков варьировали от 11.8 мг/л (2001 год) до 27.0 мг/л (1991 год). Средняя минерализация в последние годы несколько уменьшилась. Так, в 80–90-е гг. она составляла около 20 мг/л, а в последний период – около 15 мг/л. Уменьшение загрязненности проб происходило в основном за счет уменьшения в осадках сульфат-ионов, хлоридов, кальция, натрия. В период отсутствия кислотных осадков (1999–2004 гг.) увеличивалось содержание гидрокарбонат-ионов, а с 2005 г. заметно возрастает содержание хлоридов в осадках.

Преобладающим катионом всегда является ион кальция, его эквивалент-процент составляет 60 % от всех катионов, на втором месте ион аммония – 20 % экв. В начале наших наблюдений преобладающим анионом был сульфат-ион, а последние 10 лет в анионном составе больше всего хлорид-ионов. По усредненным многолетним данным сульфат и хлорид составляют примерно по 35–37 % экв., но, например, в 2014 и 2015 гг. средняя годовая концентрация хлоридов в осадках в 4 раза превышает концентрацию сульфатов. Содержание как отдельных компонентов осадков, так и их суммы (минерализация осадков), прежде всего зависит от количества осадков – чем больше осадков, тем меньше их загрязненность. Влияет и направление ветра, и интенсивность осадков, и предшествующая выпадению погода (длительность периода без осадков).

При изучении сезонных проб снега было найдено, что минерализация образцов снежного покрова из центра Москвы была в 3 раза больше, чем минерализация снежных проб Подмосковья. А пробы сезонного снега, собранные в Метеорологической обсерватории МГУ, в 5 раз чище, чем пробы в центре Москвы.

Variability of acidity and chemical composition of atmospheric precipitation in urban environment conditions

I.D. Eremina (meteo@rambler.ru)
M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia

Chemical composition of atmospheric precipitation in the region of Moscow State University was analyzed on the basis of environment monitoring of every event of wet-only sample during the period from 1982 up to now. Every year we have got about 100–150 probes of rain and snow. Concentrations of sulfate, hydrocarbonate, chloride, nitrate, calcium, magnesium, sodium, potassium and ammonium as well as pH and specific conductivity were measured.

The analysis of the chemical composition of precipitation and its acidity carried out at the Meteorological Observatory of Moscow State University demonstrates significant seasonal and interannual variability. The entire almost 35-year-old period of observations can be divided into 3 parts with different acidity, changing mineralization and different predominant ions. The percentage of acid precipitation with pH < 5 is about 21 % for a year on average. There were no practically samples of acid rain in 1999–2004. Before 1999 and the last years since 2005, we collect 25–30 % of acid rain samples per year. The volume weighted mean long-term pH is 4.9, and mean value of precipitation mineralization is 17.5 mg/L. The average annual values of precipitation mineralization varied from 11.8 mg/L (2001) to 27.0 mg/L (1991). The average mineralization has decreased somewhat in recent years. So, in the 80–90-years it was about 20 mg/l, and in the last period – about 15 mg/l. Reduction of contamination of samples occurred mainly due to a decrease in sulfate ions, chloride, calcium, and sodium in precipitation. In the absence of acid precipitation (1999–2004), the content of hydrocarbonate ions increased, and since 2005 the chloride content in precipitation has increased markedly.

The predominant cation is always the calcium ion, its fraction is 60 % eq. From all cations, and ammonium ion is on the second position – 20 % eq. At the beginning of our observations, the sulfate ion was the predominant anion, and the last 10 years in the anionic composition the chloride ion is the predominant one. According to averaged long-term data, sulfate and chloride are approximately 35–37 % eq., but, for example, in 2014 and 2015, the average annual concentration of chloride in precipitation is 4 times higher than the concentration of sulfates. The content of both the individual components of precipitation and their sum (the mineralization of precipitation) depends primarily on the amount of precipitation – the more precipitation, the less their contamination. The direction of the wind, and the intensity of precipitation, and the weather preceding the precipitation (duration of the period without precipitation) also influence.

Under investigation of seasonal snow pack samples we have found that samples of snow pack gathered in the center of Moscow were 3 times more contaminated than in the sub Moscow area samples. And the samples of seasonal snow collected at the Meteorological Observatory of Moscow State University are 5 times cleaner than the samples in the center of Moscow.

Экспериментальная аппаратура установки когерентного дистанционного зондирования для исследований характеристик атмосферы и земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн в авторском варианте

Белов С.Ю.[1] (Belov_Sergej@Mail.Ru), Белова И.Н.[2]

[1]*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы 1, 119991 Москва, Россия*

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

Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн может позволить оперативно выявлять некоторые геофизические параметры природных систем. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли (толщины порядка длины волны падающего излучения), поскольку параметр рассеяния формируется также и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур [1]. Данным методом при организации мониторингового зондирования возможно выявлять области изменения этих сред, например, для оценки сейсмической опасности и сейсмического риска, опасных природных явлений [3], изменения экосистем, а также некоторых экстремальных событий техногенного характера [6], в том числе и для решения проблем рационального и экологичного недро- и природопользования, прогнозирования изменчивости экосистем.

В работе рассматривается задача дистанционной диагностики «шероховатой» земной поверхности и диэлектрических подповерхностных структур в КВ-диапазоне. При этом в

качестве параметра, характеризующего рассеивающую способность радиоволн земной поверхности, используется соотношение сигнал/шум. Идея метода определения этого параметра заключается в том, что, располагая синхронной информацией о волне, отражённой от ионосферы и о волне, отражённой от земли и ионосферы (или прошедшей ионосферу дважды при зондировании со спутника), возможно извлекать информацию о параметре рассеяния [5].

В работе представлена разработанная и сконструированная автором экспериментальная аппаратура наземного измерительного комплекса установки когерентного зондирования рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн для оценки параметра сигнал/шум [2]. Предложен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум. Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения этого параметра новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный [7]. Анализ аналитических погрешностей оценки искомого параметра позволил рекомендовать метод R4 вместо стандартного R2. При этом достаточно высокая аналитическая (относительная) точность оценки требуемого параметра может быть достигнута с помощью некогерентной аппаратуры, используя метод R4. Также остаётся возможность оптимизации статистической ошибки путём соответствующей специальной цифровой обработки сигнала [4].

Поддержано грантом по проекту РНФ № 16-17-00114.

1. Белов С.Ю. Экспериментальное исследование характеристик когерентной и некогерентной обработки информации при дистанционном зондировании атмосферы и "шероховатой" земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн // Изв. ВУЗов. Физика. 2016. Т. 59, № 12–3. С. 121–124.
2. Белов С.Ю., Белова И.Н. Функциональная схема экспериментальной аппаратуры когерентного приёма в задачах мониторинга поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии. 2015. С. 53–58.
3. Белов С.Ю. Космический мониторинг характеристик прибрежных территорий для обеспечения экологической безопасности зондированием в коротковолновом диапазоне радиоволн // Экология. Экономика. Информатика. Ростов-на-Дону. ISBN: 978-5-9275-2055-8. 2016. С. 27–41.
4. Белов С.Ю., Белова И.Н. Математические методы определения характеристик рассеивающей способности отражающего экрана когерентным и некогерентным способами // Математика, физика, информатика и их приложения в науке и образовании. ISBN 978-5-7339-1374-2. 2016. С. 155–157.
5. Белов С.Ю. О способах определения параметра сигнал/шум при отражении радиоволн от границы раздела двух сред в КВ-диапазоне // Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования. Севастополь. ISBN 978-5-9908460-0-5. 2016. С. 528–533.
6. Белов С.Ю. Дистанционные методы наблюдений и технологии мониторинга природно-техногенных опасных процессов в коротковолновом диапазоне радиоволн // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз. Южно-Сахалинск. ISBN: 978-5-7442-1590-3. 2016. С. 172–175.
7. Belov S.Yu., Belova I.N. The analysis of methods of determination the scattering parameter of the inhomogeneous fluctuating ionospheric screen // Atmosphere, Ionosphere, Safety. Kaliningrad. ISBN: 978-5-9971-0412-2. 2016. P. 435–440.

Experimental equipment of installation of coherent remote sensing for researches of characteristics of the atmosphere and the Earth's surface in the short-wave range of radio waves in the author's version

S.Yu. Belov[1] (Belov_Sergej@Mail.Ru), Iya N. Belova[2]

[1]M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie gory, 119991 Moscow, Russia
[2]A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

Monitoring of the earth's surface by remote sensing in the short-wave band can provide quick identification of some characteristics of natural systems [2]. This band range allows one to diagnose subsurface aspects of the earth, as the scattering parameter is affected by irregularities in the dielectric permittivity of subsurface structures [3]. The new method is suggested. This method based on the organization of the monitoring probe may detect changes in these environments, for example, to assess seismic hazard, hazardous natural phenomena, changes ecosystems, as well as some man-made hazards and etc. [6]. The problem of measuring and accounting for the scattering

power of the earth's surface in the short-range of radio waves is important for a number of purposes, such as diagnosing properties of the medium, which is of interest for geological, environmental studies [4].

In this paper, we propose a new method for estimating the parameters of incoherent signal/noise ratio. The paper presents the results of comparison of the measurement method from the point of view of their admissible relative analytical errors [5]. A comparative analysis shows that the analytical (relative) accuracy of the determination of this parameter by new method on the order exceeds the widely-used standard method [7]. Analysis of admissible relative analytical error of estimation of this parameter allowed to recommend new method instead of standard method [1].

Supported by the grant of the project RNF № 16-17-00114.

1. Belov S.Yu. The analysis of monitoring data of the parameter scattering power the earth's surface in the short-wave range of radio waves // Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies, Geoinformatics research papers. eISSN: 2308-5983. Vol. 4, No 2, DOI:10.2205/2016BS08Sochi. BS4002. 2016. 50 p.
2. Belov S.Yu., Belova I.N., Falomeev S.D. Monitoring of coastal ecosystems by method of remote sensing in the short-wave range of radio waves // Managing Risks to Coastal Regions and Communities in a Changing World. St. Petersburg, ISBN:978-5-369-01628-2. DOI:10.21610/conferencearticle_58b4316d2a67c. 2016.
3. Belov S.Yu., Belova I.N. Methods of obtaining data on the characteristics of superficial and subsurface structures of the earth by remote sensing in the short-wave range of radio waves.//IGCP 610 project "From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary" (2013–2017). GNAS Tbilisi. Georgia. ISSN:978-9941-0-9178-0. 2016. P. 26–29.
4. Belov S.Yu. On some characteristics of the scattering of the earth’s surface for remote sensing in the short-wave band // Regional Problems of Remote Sensing of the Earth, SFU. Krasnoyarsk. ISBN 978-5-7638-3306-5. 2015. P.101–104.
5. Belov S.Yu., Belova I.N. Research of characteristics of coherent and incoherent information processing at remote sensing of the atmosphere and the "rough" surface of the earth in the SW range of radio waves // Propagation of radio waves. Tomsk. ISBN:978-5-86889-736-8. Vol .3. 2016. P. 94–97.
6. Belov S.Yu., Belova I.N. Monitoring of the Earth's surface by method of remote sensing in SW range // Ecology-2015. Arkhangelsk. ISBN 978-5-91378-098-0. 2015. P. 6–7.
7. Belov S.Yu. The program of registration quadrature a component of the n-fold reflected radio signal from a terrestrial surface. The certificate on registration of the right to the software № RU.2016612172 of 19.02.2016.

Радиационные измерения в Томске: суточные и сезонные колебания ультрафиолетовой, фотосинтетически активной и суммарной радиации

Смирнов С.В. (smirnov@imces.ru)

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Академический пр. 10/3, 634055 Томск, Россия

Представляются результаты измерений солнечной ультрафиолетовой радиации (УФР, 280–400 нм), фотосинтетически активной радиации (ФАР, 400–700 нм) и суммарной радиации (СР, 305–2800 нм), проведённых в Томске в 2006–2016 гг. Радиационные измерения были выполнены в геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН с помощью многоканального фильтрового радиометра NILU-UV-6T и пиранометра Keep & Zonen CM-11 с 1-мин временным разрешением, установленных на наблюдательной площадке на крыше здания института. Максимальные значения суточных сумм за период наблюдений 2006–2016 гг. составили 1.58 МДж·м$^{-2}$ для УФР-А (320–400 нм), 86.9 кДж·м$^{-2}$ для УФР-Б (280–320 нм), 3.99 кДж·м$^{-2}$ для эритемной УФР (280–320 нм), 5.17 кДж·м$^{-2}$ для биологически активной УФР (286–313 нм) и 49.24 Е·м$^{-2}$ для ФАР. С использованием второго фильтрового радиометра были также проведены измерения УФР и ФАР в полевых условиях вблизи Бакчарского болота (западнее Томска на 190 км) в течение вегетационных периодов с мая по октябрь 2013–2014 гг. Относительные средние различия между данными наблюдений в Томске и на болоте в 2013 и 2014 г. составили 2 и 13 % для биологически активной УФР и 21 и 27 % для ФАР соответственно при всех состояниях неба и солнечных зенитных углах.

Работа была выполнена в рамках проекта ФНИ VIII.77.1.1.

Radiation measurements in the Tomsk region: diurnal and seasonal cycles of ultraviolet, photosynthetically-active and global radiation

S.V. Smirnov (smirnov@imces.ru)
Institute of Monitiring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3 Academicheskii ave., 634055 Tomsk, Russia

The time series of solar ultraviolet radiation (UVR, 280–400 nm), photosynthetically-active radiation (PAR, 400–700 nm), and global radiation (GR, 305–2800 nm) measurements in the Tomsk region for the period 2006–2016 are presented. The radiation measurements were performed by multifilter radiometer NILU-UV-6T and pyranometer Keep & Zonen CM-11 with temporal 1-min resolution on a roof observation platform in a geophysical observatory of IMCES SB RAS in Tomsk. The maximum integrated daily doses measured during 2006–2016 were 1.58 $MJ \cdot m^{-2}$ for UVA (320–400 nm), 86.9 $kJ \cdot m^{-2}$ for UVB (280–320 nm), 3.99 $kJ \cdot m^{-2}$ for CIE-weighted UVR (280–320 nm), 5.17 $kJ \cdot m^{-2}$ for Caldwell-weighted UVR (286–313 nm), and 49.24 $E \cdot m^{-2}$ for PAR. Also using the 2nd multifilter radiometer, UVR and PAR measurements have been carried out in field conditions near the Bakchar bog (to the west of Tomsk on 190 km) during vegetation periods in May–October of 2013–2014. The relative mean differences between the time series of average daily dose rates measured in Tomsk and the Bakchar bog in 2013 and 2014 were 2 and 13 % for Caldwell-weighted UVR, and 21 and 27 % for PAR respectively for all sky conditions and solar zenith angles.

The work has been executed in frameworks of the Fundamental Scientific Researches Project VIII.77.1.1.

Исследование корректности задачи о распространении акустико-гравитационных волн в атмосфере от вариаций атмосферного давления на поверхности Земли

Курдяева Ю.А.[1], Кшевецкий С.П.[1] (SPKshev@gmail.com), Гаврилов Н.М.[2] (n.gavrilov@spbu.ru)

[1]*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, ул. А. Невского 14, 236041 Калининград, Россия*
[2]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия*

Известно, что большинство атмосферных акустико-гравитационных (АГВ) волн образуются на тропосферных высотах. Источниками волн могут являться разнообразные метеорологические явления. Различными авторами моделировалась генерация акустических и гравитационных волн, возникающих вследствие нагрева/охлаждения атмосферного газа процессами конденсации/испарения воды при формировании и эволюции грозовых облаков. Одной из проблем таких расчетов является трудность описания пространственно-временной динамики этих источников вследствие сложности и неопределенности метеорологических источников и недостатка информации для их описания. Волны, генерируемые метеорологическими источниками, меняют давление на поверхности Земли, которое фиксируется микробарографами с высоким разрешением. Это делает интересной задачу о распространении волн от волновых колебаний давления, регистрируемых микробарографами.

Мы ставим целью модифицировать численную модель высокого разрешения ATMOSYM(2016) [http://atmos.dev.awsmtek.com/], чтобы сделать ее пригодной для моделирования акустико-гравитационных волн от волновых вариаций давления на поверхности Земли. Первоначальным является вопрос о корректной постановке граничной задачи о распространении волн от вариаций атмосферного давления. Математическое исследование гидродинамических уравнений для газа показало, что решение граничной задачи распространения АГВ от переменной плотности и температуры, заданной на поверхности Земли, однозначно определяется давлением на поверхности Земли, но не зависит от деталей распределения температуры и плотности на поверхности Земли. Численное моделирование акустических и гравитационных волн, генерируемые гармоническими изменениями давления на поверхности Земли, подтвердило теоретические результаты. Задача о распространении акустико-гравитационных волн от колебаний давления на поверхности Земли может быть решена аналитически в случае изотермической атмосферы.

Мы сравнили аналитические и численные решения и продемонстрировали хорошее согласование между ними. Такие сравнения могут быть использованы для проверки численных моделей атмосферных акустико-гравитационных волн. Разработанный метод и модификация модели ATMOSYM(2016) позволяют моделировать волны, распространяющиеся от экспериментально наблюдаемых изменений давления. Такой подход позволяет рассчитать нагревание верхних слоев атмосферы волнами, которые

распространяются из нижней атмосферы и оценить их вклад в атмосферные и ионосферные параметры.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 17-05-00574. Численное моделирование проводились с использованием суперкомпьютеров И.Кант БФУ и «Ломоносов» МГУ.

On the problem of propagation of acoustic-gravity waves from pressure variations on the Earth's surface

Yu.A. Kurdyaeva[1], S.P. Kshevetskii[1] (SPKshev@gmail.com), N.M. Gavrilov[2] (n.gavrilov@spbu.ru)

[1]*I. Kant Baltic Federal University, 14 A. Nevsky str., 236041 Kalinigrad, Russia*

[2]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

It is general knowledge that most atmospheric acoustic-gravity waves (AGW) arise at tropospheric heights. Various meteorological phenomena are sources of these waves. Many authors considered the generation of AGWs by wave sources describing heating/cooling of air at condensation/evaporation of water during the formation and evolution of thunderstorm clouds. Acceptable specification of the spatiotemporal dynamics of these thermal sources is a trouble due to the complexity of meteorological processes and lack of detailed experimental information. Waves generated by meteorological sources change pressure on the Earth's surface, and these wave pressure variations are recorded with high-resolution microbarographs. This makes interesting the problem of wave propagation from wave pressure oscillations on the Earth's surface, recorded by microbarographs.

We modify the high-resolution ATMOSYM (2016) numerical model [http://atmos.dev.awsmtek.com/] to make it suitable for modeling of acoustic-gravity waves from wave variations of pressure on the Earth's surface. Correct formulation of the boundary problem of wave propagation from variations in atmospheric pressure is an initial question. The mathematical study of hydrodynamic equations for atmospheric gas has revealed that the solution of the boundary problem of AGW propagation of variable density and temperature given on the Earth's surface is uniquely determined by surface pressure variations. The solution does not depend on details of temperature and density fields on the Earth's surface. Numerical modeling of acoustic-gravity waves generated by pressure variations on the Earth's surface, has confirmed theoretical results. The linearized problem of acoustic-gravity wave propagation from pressure oscillations on the Earth's surface can be solved analytically in the case of an isothermal atmosphere.

We compared analytical and numerical solutions and demonstrated good agreement between them. The developed method and the code of the ATMOSYM model (2016) allow modeling of wave propagating from experimentally registrable pressure variations. Such an approach makes possible calculation of heating of the upper layers of the atmosphere by waves propagating from the lower atmosphere and estimation of their contribution to the atmospheric and ionospheric parameters.

The work was supported by RFBR grant 17-05-00574. Numerical simulations were performed with the help of supercomputers I. Kant BFU and "Lomonosov" of Moscow State University.

Проникновение акустико-гравитационных мод от сверхзвукового возбуждения на земной поверхности в верхние слои атмосферы

Гаврилов Н.М.[1] (n.gavrilov@spbu.ru), Кшевецкий С.П.[2]

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

[2]*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, ул. А. Невского 14, 236041 Калининград, Россия*

Сейсмические волны, возбуждаемые до и после землетрясений, могут создавать вертикальные движения земной поверхности. Возмущения могут распространяться в средние и верхние слои атмосферы и вызывать колебания атмосферных характеристик на разных высотах. Среди механизмов таких ионосферных возмущений может быть распространение

акустико-гравитационных волн (АГВ) от сейсмических возмущений на земной поверхности. Основные трудности при таком объяснении связаны с высокой скоростью поверхностных сейсмических волн, намного превышающей скорость звука в атмосфере вблизи земной поверхности. Традиционные теории атмосферных АГВ предсказывают, что на низких частотах такие сверхзвуковые моды не могут распространяться по вертикали, а являются захваченными гравитационными волнами с амплитудами, экспоненциально убывающими с высотой. Это создает вопросы о важности сейсмически возбуждаемых сверхзвуковых волн в формировании ионосферных возмущений.

В настоящем исследовании мы используем недавно разработанную нелинейную численную Всевысотную Акустоко-Гравитационную Волновую Модель (ВАГВМ) для моделирования распространения сверхзвуковых волновых мод от земной поверхности земли в слои атмосферы. ВАГВМ представляет собой трехмерную модель и использует плоскую геометрию. Она вычисляет компоненты скорости и отклонения температуры, давления и плотности от их фоновых значений. Гаврилов и Кшевецкий [1] описали систему используемых нелинейных трехмерных уравнений непрерывности, движения и теплового баланса. Вариации вертикальной скорости, создаваемые распространяющимися сейсмическими волнами на земной поверхности, служат источниками волн в модели.

Модельные распределения волновых возмущений температуры для спектральных компонент с инфразвуковыми частотами через 2 часа после активации источника поверхностной сейсмической волны с горизонтальной фазовой скоростью 1 км/s имеют распространяющиеся волновые фронты, наклоненные противоположно направлению горизонтальной фазовой скорости, которое соответствует идущей вверх инфразвуковый волне. Спектральные компоненты, соответствующие частоты гравитационных волн оказываются захваченными в нижней и средней атмосфере с квази-вертикальными волновыми фронтами. Выше 150–200 км, фронты гравитационных волн становятся наклоненнми к горизонту, что свидетельствует о распространении волн по вертикали. Это означает, что энергия сверхзвуковых сейсмических волн может проникать в ионосферу, где соответствующие моды АГВ становятся бегущими и могут создавать распространяющиеся ионосферные возмущения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 17-05-00458).

1. Гаврилов Н.М., Кшевецкий С.П. Численное моделирование распространения нелинейных акустико-гравитационных волн в средней и верхней атмосфере // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 1. С. 76–83.

Penetration of acoustic-gravity modes from the supersonic surface excitation to the upper atmosphere

N.M. Gavrilov[1] (n.gavrilov@spbu.ru), S.P. Kshevetskii[2]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*I. Kant Baltic Federal University, Physics Faculty, 14 A. Nevsky str., 236041 Kalinigrad, Russia*

Seismic waves excited before and after earthquakes can make vertical motion of the Earth’s surface. The perturbations can propagate to the middle and upper atmosphere and cause variations and oscillations of atmospheric characteristics at different altitudes. Among the mechanisms of such ionospheric perturbations could be propagation of acoustic-gravity waves (AGWs) in the atmosphere caused by seismic excitations at the Earth’s surface. The main difficulties in such explanation are connected with high phase speeds of surface seismic waves, much exceeding the sound speed in the atmosphere near the ground. Traditional theory of atmospheric AGWs predicts that at low frequencies such supersonic excitation should produce not propagating, but trapped (or evanescent) gravity wave modes with amplitudes exponentially decaying with altitude. This can raise questions about the importance of seismic-excited supersonic waves in the formation of ionospheric disturbances.

In the present study, we use the recently developed nonlinear numerical Whole-altitude Acoustic-Gravity Wave Model (WAGWM) to simulate propagation of supersonic wave modes from the ground to the upper atmosphere. The WAGWM is a three-dimensional model and uses the plain geometry. It calculates atmospheric velocity components and deviations of temperature, pressure, and density from their background values. Gavrilov and Kshevetskii [1] described the set of used nonlinear three-dimensional equations of continuity, motion and heat balance. Variations of vertical velocity produced by propagating seismic waves at the Earth's surface serve to force the waves in the model.

Simulated distributions of wave temperature perturbations for spectral modes with infrasound frequencies at time 2 hr after activating the surface seismic wave forcing with horizontal phase speed of 1 km/s show their propagation with the wave fronts inclined in the directions opposite to the direction of horizontal phase speed, which corresponds to upward infrasound phase propagation. Spectral components corresponding to gravity wave frequencies are trapped in the lower and middle atmosphere with quasi-vertical wave fronts. Above altitudes 150–200 km, the gravity wave fronts become inclined to the horizon, which shows that the waves become propagating vertically. This means that the energy of supersonic seismic waves can penetrate to ionospheric altitudes, where the respective AGW modes become propagating and may produce travelling ionospheric disturbances (TIDs).

This study was supported by the Russian Basic Research Foundation (# 17-05-00458).

1. Gavrilov N.M. and S.P. Kshevetskii. Izv. Atm. Oceanic Physics. 2014. Vol. 50, No. 1. P. 66–72.

Последние достижения и трудности исследования реакции ионосферы на сейсмические колебания земной поверхности

Краснов В.М.[1] (vmkrasnov@yandex.ru), Дробжева Я.В.[2] (ydrobzheva@mail.ru), Кулешов Ю.В.[1] (kuleshov_y@mail.ru)

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

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

Развитие спутниковых радионавигационных систем открыло новые возможности для исследований возмущений ионосферы на основе регистрации пространственно-временных изменений полного электронного содержания (ПЭС). Например, после каждого сильного землетрясения в журналах появляются десятки статей, описывающих результаты воздействия движения земной поверхности или цунами на ионосферу. Предлагается использовать указанный выше вид наблюдений в системах предупреждения цунами, а также при мониторинге движения земной (морской) поверхности в труднодоступных местах. Для описания воздействия землетрясений на ионосферу разработаны и совершенствуются ряд моделей. К сожалению, в основном преобладают качественные сопоставления модельных результатов с экспериментом.

В настоящее время поле скоростей движения земной поверхности или океана во время землетрясения описывается с высокой точностью, и оно может быть непосредственно использовано как граничное условие при решении задачи излучения акустических волн. Вертикальные движения земной поверхности в ближней и дальней зоне сильного землетрясения (включая движения из-за P, S, SS, волн Рэлея) приводят к генерации акустической волны и возникновению ионосферных возмущений. Наряду с численными решениями дифференциальных уравнений интеграл Рэлея может эффективно использоваться для описания генерации акустических волн в неоднородной атмосфере, что позволяет определять диаграмму направленности излучения и траектории распространения акустических волн. При расчетах распространения акустических волн в атмосфере необходимо учитывать нелинейные эффекты. Их учет дает возможность определить граничную высоту, до которой временные колебания ионосферных возмущений подобны

записям сейсмограмм. Знание этой границы и характеристик диаграммы излучения акустической волны позволяет выбрать оптимальную траекторию радиоволны от спутника к приемнику для обеспечения максимального отношения сигнала к шуму. Возмущения ионосферы также зависят от величины градиентов акустического поля волны. Поэтому при численном решении дифференциальных уравнений шаг сетки для расчетов должен быть достаточно малым, чтобы учесть эти градиенты и нелинейные эффекты. Существенное внимание должно быть уделено дальнейшему развитию моделей, описывающих отклик ионосферы на сейсмические источники, и сопоставлению результатов расчета с экспериментом.

Recent advances and difficulties of investigation of ionospheric response to the movement of the Earth surface

V.M. Krasnov[1] (vmkrasnov@yandex.ru),Ya.V. Drobzheva[2] (ydrobzheva@mail.ru),
Yu.V. Kuleshov[1] (kuleshov_y@mail.ru)
[1]*Mozhaisky Military Space Academy, 13 Zhdanovskaya str., 197198 Saint Petersburg, Russia*
[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Maloohtinsky ave., 195196 Saint Petersburg, Russia*

Development of Global Navigation Satellite System has opened new opportunities to investigate ionospheric disturbances based on space-time variations of the total electron content (TEC). For example, the paper ensemble appears in the literature after strong earthquake which describe results of influence of movement of a terrestrial surface or a tsunami upon the ionosphere. It is offered to use this kind of observations in tsunami warning systems, and also during monitoring of earth (sea) surface motion in hard-to-reach regions. To describe the phenomena a number of models are developed and enhanced. Unfortunately, qualitative comparisons of results of calculation and experiment in most cases prevail.

Nowadays the representations of wave fields from seismic sources of earthquakes can be made with accuracy, so that predictions of ionospheric excitation using the velocity boundary condition are quite straightforward. Earth surface motions at near-field and far-field of a strong earthquake (including motions due to P, S, SS, Rayleigh waves) lead to generation of an acoustic waves and ionospheric disturbances. In addition to numerical solutions of the differential equations, the Rayleigh integral can effectively be used for the description of generation of acoustic waves in the inhomogeneous atmosphere, that allows defining a directional radiation pattern and trajectories of propagation of acoustic waves. Calculations of acoustic wave propagation in the inhomogeneous atmosphere should consider nonlinear effects. It will allow defining the border of heights up to which the temporal oscillations of ionospheric disturbances are similar to the form of seismic records. The knowledge of this border and characteristics of the diagram of radiation of an acoustic wave allows choosing an optimum trajectory of a radiowave from the satellite to the receiver for achievement of the maximal signal-to-noise ratio. Disturbances of ionospheric electron density also depend on a spatial gradient of acoustic wave field. Therefore, it is necessary to choose the grid size of the numerical models small enough to accurately reproduce these gradients and nonlinear effects. Considerable attention should be paid to the further development of models for seismic sources of acoustic wave and the models should be tested and validated against experimental data.

Исследование генерации длиннопериодных собственных колебаний Земли атмосферными движениями

Ермоленко С.И., Швед Г.М. (g.shved@spbu.ru), Кукушкина А.Е.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Сфероидальные собственные колебания Земли (СКЗ) 0S2, 0S3 и 0S4 , имеющие соответственно периоды 54, 36 и 29 мин, возбуждаются при сильных землетрясениях. Рядом исследований было показано, что существующий постоянный фон СКЗ с короткими периодами в диапазоне ~ 8–2 мин обусловлен процессами в атмосфере. Данное исследование предпринято с целью выявления роли движений атмосферы в генерации вышеуказанных длиннопериодных СКЗ. Исследование основано на непрерывных многолетних данных измерений сверхпроводящим гравиметром, поскольку гравиметры регистрируют вариации силы тяжести, связанные с движениями атмосферы. Рассчитываются частотные спектры по 5-суточным рядам, последовательно смещаемым во времени с шагом 1 сутки. Связь СКЗ с атмосферными процессами определяется по корреляции между величинами спектральной интенсивности на частотах длиннопериодных СКЗ и величинами индексов Арктической осцилляции (АО) и Антарктической осцилляции (ААО), которые характеризует степень динамического возмущения атмосферы северного и южных полушарий соответственно.

Study of the generation of long-period Earth's free oscillations by atmospheric motions

S.I. Ermolenko, G.M. Shved (g.shved@spbu.ru), A.E. Kukushkina
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

Spheroidal Earth’s free oscillations (EFOs) 0S2, 0S3, and 0S4 with the periods of 54, 36, and 29 min, respectively, are excited by strong earthquakes. A number of studies have shown that the short-period background EFOs with periods of ~ 8–2 min are caused by atmospheric processes. The purpose of this study is to determine the role of atmospheric motions in the generation of the above long-period EFOs. The study is based on continuous many-years measurements by superconducting gravimeter, since gravimeters detect the variations of gravity due to atmospheric motions. The frequency spectral analysis was applied over the 5-day window sliding along the series of the gravimeter measurements with 1-day step. The relationship between the EFOs and atmospheric processes was studied by calculating the correlation between the values of power spectral density at the EFO frequencies and the values of indexes of the Arctic oscillation (AO) and Antarctic oscillation (AAO), which characterizes the intensity of dynamic perturbation of the atmosphere in the Northern and Southern hemispheres, respectively.

Обнаружение собственных колебаний атмосферы с периодами короче 6 часов по барометрическим измерениям

Ермоленко С.И.[1] (natale_spb@mail.ru), Швед Г.М.[1] (g.shved@spbu.ru), Якоби К.[2]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Университет Лейпцига, Германия*

Для регистрации короткопериодных глобальных волн атмосферы были использованы одновременные полугодовые наблюдения вариаций приземного давления, полученные по барометрическим измерениям на станциях Глобального Геодинамического Проекта (ГГП). Впервые обнаружены неприливные глобальные осцилляции атмосферы в диапазоне периодов ~ 2–5 часов, время жизни которых составляет ~ 10 дней. Обнаруженные

осцилляции, скорее всего, являются гравитационно-инерционными собственными колебаниями атмосферы (СКА), называемыми также волнами Лэмба.

По данным станций ГГП, расположенных на близких широтах и долготах, были рассчитаны фазы этих СКА. Выявленные волны распространяются на запад. А их зональные числа увеличиваются с частотой волны, что соответствует как теории гравитационно-инерционных СКА, так и физическим соображениям о влиянии величины фазовой скорости волн на генерацию СКА. Так как все обнаруженные СКА с периодами меньше 20 часов распространяются на запад, то можно предположить, что они генерируются в результате разрушения также распространяющихся на запад мигрирующих солнечных тепловых приливов и (или) крупномасштабных волн Россби.

Detecting the atmospheric normal modes with periods less than 6 hours by barometric observations

S.I. Ermolenko[1], G.M. Shved[1] (g.shved@spbu.ru), Ch. Jacobi[2]
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*Universiät Leipzig, Institute for Meteorology, Stephanstr. 3, D-04103 Leipzig, Germany*

The simultaneous semi-annual observations of surface air-pressure variations by barometers at the stations of Global Geodynamics Project (GGP) network were used to detect short-period global atmospheric waves. The observations at far-spaced stations have firstly revealed individual non-tidal global oscillations in the ~ 2–5 h period range with the lifetime of ~ 10 days. The oscillations observed are most likely the gravity-inertia normal modes or “Lamb” waves.

The data of the GGP network stations which are close in both latitude and longitude were utilized for deriving the phases of the detected oscillations. The waves revealed propagate to the west. Their zonal wavenumbers increase with wave frequency in accordance both with the gravity-inertia normal mode theory and with the physical consideration in respect to the mode generation dependence on phase speed value of the mode considered. As all the detected normal modes with periods less than ~ 20 hours are westward, these are suggested to be generated due to the breakdown of migrating solar thermal tides and/or large-scale Rossby waves, which both propagate to the west as well.

Об определении характеристик атмосферной турбулентности на разных высотах по данным реанализа

Шиховцев А.Ю. (artempochta2009@rambler.ru), Ковадло П.Г., Лукин В.П.
Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

Исследования атмосферной турбулентности существенно осложняются недостатком информации о турбулентных флуктуациях скорости ветра и температуры воздуха в разных точках земной поверхности на разных высотах: от подстилающей поверхности до уровня тропопаузы и выше. В то же время формирующиеся на основе сетевых аэрологических наблюдений архивы данных с разной степенью покрытия позволяют оценивать изменения атмосферных характеристик за три часа и более.

В работе обсуждается один из возможных подходов к статистической оценке интенсивности турбулентных флуктуаций скорости ветра и температуры воздуха на разных высотах по данным реанализа. Подход основан на учете особенностей изменений формы энергетического спектра турбулентности с высотой в широком диапазоне пространственных и временных масштабов. Помимо мелкомасштабного диапазона флуктуаций, описываемого теорией Колмогорова, рассматривается энергия более крупных неоднородностей, лежащих «левее» микрометеорологического интервала.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 15-19-20013.

Estimating atmospheric turbulence characteristics at different heights from reanalysis data

A.Yu. Shikhovtsev (artempochta2009@rambler.ru), P.G. Kovadlo, V.P. Lukin
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126 Lermontov str., 664033 Irkutsk, RussiaIrkutsk, Russia

Investigations of atmospheric turbulence are significantly complicated by a lack of information on wind speed as well as air temperature turbulent fluctuations at different points of the earth's surface at different heights: from the underlying surface to the tropopause and higher. At the same time data archives of network aerological observations allow one to estimate variations of atmospheric characteristics in three hours or more.

The work discusses one of the possible approaches to the statistical evaluation of the turbulent fluctuations` intensity of wind speed and air temperature at different heights from reanalysis data. The approach is based on the features of the energy turbulence spectrum deformations with altitude over a wide range of spatial and temporal scales. In addition to the small-scale fluctuation range described by the Kolmogorov theory the energy of larger inhomogeneities lying "to the left" of the micrometeorological interval is considered.

This work has been supported by the grant of the RSF No. 15-19-20013.

Сезонные вариации внутренних гравитационных волн в области мезопаузы в восточной Сибири

Сивцева В.И. (verasivtseva@gmail.com), Аммосов П.П., Гаврильева Г.А., Колтовской И.И., Аммосова А.М.
Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31, 677980 Якутск, Россия

Исследованы стандартные отклонения σ средненочных температур в области мезопаузы (87 км) по измерениям на станции Маймага (63.04° N, 129.51° E) и Тикси (71.58° N, 128.77° E). Регистрация спектров на обеих станциях осуществляется с помощью одинаковых светочувствительных инфракрасных спектрографов Shamrok (Andor), регистрирующих полосу OH(3,1) в далекой инфракрасной области (около 1.5 мкм). Имеются в наличии данные за сезоны 2013–2014, 2014–2015, 2015–2016 гг. со станции Маймага и данные за сезон 2015–2016 гг. со станции Тикси.

Выделены стандартные отклонения внутренних гравитационных волн (ВГВ) σ_{gw}. Наблюдается сезонный ход σ_{gw}, который сохраняется при делении на средненочную температуру T_{av} для обеих станций. В ПГО Тикси и Маймага за сезон 2015–2016 стандартные отклонения ВГВ σ_{gw} имеют схожий вид. В настоящее время ведется работа по спектральному анализу (методом Скаргли-Ломба) колебаний температуры за ночь.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 17-05-00855 А, № 16-35-00121 мол_а, № 16-35-00204 мол_а, № 15-05-05320 А, 15-45-05066 р_восток_а.

Seasonal variations of internal gravity waves in the mesopause region in eastern Siberia

V.I. Sivtseva (verasivtseva@gmail.com), P.P. Ammosov, G.A. Gavrilyeva, A.M. Ammosova, I.I. Koltovskoi
Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin ave., 677980 Yakutsk, Russia

Standard deviations σ of average nighttime temperature in the mesopause region (87 km) are investigated using measurements at the station Maimaga (63.04° N, 129.51° E) and Tiksi (71.58° N, 128.7° E). Recording of the spectra at both stations is carried out by identical light-sensitive

infrared spectrographs Shamrok (Andor) which register OH (3.1) band in the far infrared (1.5 microns). There are data for the seasons 2013–2014, 2014–2015, 2015–2016 for Maimaga station and data for the season 2015–2016 for Tiksi station.

Standard deviations of internal gravity waves (IGW) σ_{gw} are derived. There is a seasonal variation of σ_{gw} which remains after division by the average nighttime temperature T_{av} for both stations. Also in season 2015–2016 the standard deviations of IGW σ_{gw} at Tiksi and Maimaga have a similar appearance. At present work is underway on spectral analysis (Scargle-Lomb method) of temperature fluctuations per night.

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of scientific projects №17-05-00855 А, № 16-35-00121 мол_а, № 16-35-00204 мол_а, № 15-05-05320 А, 15-45-05066 р_восток_а.

The relation of seasonal forecasts to the middle atmosphere

Kristina Fröhlich[1] (kristina.froehlich@dwd.de), Mikhail Dobrynin[2] (mikhail.dobrynin@uni-hamburg.de), Daniela Domeisen[3] (ddomeisen@geomar.de)

[1]*German Meteorological Service/Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Str. 135, D-63067 Offenbach, Germany*

[2]*Universität Hamburg, Climate Modelling, Bundesstr. 53, 20146 Hamburg, Germany*

[3]*GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Düsternbrooker Weg 20, D-24105 Kiel, Germany*

The German Climate Forecast System (GCFS) is a global coupled model system for operational seasonal forecasts. The model is jointly developed by the Max-Planck-Institute for Meteorology Hamburg (MPI-M), the University of Hamburg (UHH) and the German Meteorological Service (DWD). The underlying system is the MPI Earth System Model which couples atmosphere, land, ocean, sea-ice and a hydrological runoff model. The climate model has been adapted to run in ensemble mode with initial conditions from observations and reanalysis data. GCFS version 1 produces operational forecasts since May 2015 at a resolution of around 200 km. The next version 2 will enhance not only the atmospheric horizontal resolution to 100 km but will also double the vertical levels from 47 to 95 layers up to 0.01 hPa. Ocean resolution is also increased.

Here we present a planetary wave analysis for the winter forecasts during the years 1981–2010. The forecasts start in November from assimilated initial conditions provided by ERA-Interim and ORAS4 (Ocean ReAnalysis System4). The analysis covers the winter months December, January, February to the onset of spring in March. We investigate the ability of the model to describe the winter circulation in the full vertical atmosphere of the Northern Hemisphere and analyze how this might affect winter forecasts.

Effect of non-zonal gravity wave forcing on the stratospheric and mesospheric circulation

Nadja Samtleben (Nadja.Samtleben@uni-leipzig.de), Christoph Jacobi

University of Leipzig, 3 Stephanstraβe, 04347 Leipzig, Germany

A profound knowledge of atmospheric waves is essential to understand the processes in the middle atmosphere. The most important characteristic of waves is their ability to transport and deposit energy and momentum from their origin. In particular internal gravity waves (IGWs) distribute energy and angular momentum throughout the whole atmosphere helping to maintain the circulation of the upper atmosphere.

On the basis of density variance profiles derived from GPS radio occultation data a localized area of enhanced IGW breaking in the lower stratosphere over Eastern Asia region (37.5–62.5° N/112–169° E) has been discovered. With the help of MUAM, a 3D mechanistic non-linear

global circulation model for the middle and upper atmosphere, the impact of such a non-zonal IGW forcing on the stratospheric and mesospheric dynamics was examined by performing a sensitivity study with respect to its spatial distribution. Depending on the strength and the localisation of the IGW hotspot additional planetary waves (PWs) are induced. Particularly with regard to the stability of the polar vortex the dynamics of the middle atmosphere is highly affected by these PWs. Depending on certain conditions like the duration of the IGW hotspot a splitting of the polar vortex can be observed. A shift of the IGW hotspot into the lower latitudes, however, only leads to a displacement of the polar vortex and by shifting the hotspot into the high latitudes the vortex nearly remains unchanged.

Изменчивость динамического и термического режима авроральной мезосферы по данным метеорного радара и ионозонда

Лукьянова Р.Ю.[1] (r.lukianova@gcras.ru), Козловский А.Е.[2]
[1]*Геофизический Центр РАН, Молодежная ул. 3, 119296 Москва, Россия*
[2]*Геофизическая Обсерватория Соданкюля, Финляндия*

По данным измерений отражений от метеорных следов в области авроральной мезосферы–нижней термосферы (МНТ) с помощью метеорного радара SKiYMET, обс. Соданкюля (68° N, 23° E), построены карты ветрового поля и температуры за период с декабря 2008. Усредненная картина меридионального ветра состоит из потока, направленного в зимний период к северу, и более интенсивного потока – летом к экватору. Максимум летнего ветра (~ 15 м/с) находится несколько ниже мезопаузы. Зональный ветер (~ 10 м/с) зимой направлен на восток во всем интервале высот. Летом в нижних слоях поток идет на запад, а в верхних – на восток, так что в области мезопаузы наблюдается сдвиг ветра до 80 м/с. Температура на высоте ~ 90 км изменяется от ~ 100 К (лето) до 200 К (зима). Наблюдаемая структура соответствует полярной ветви сезонной межполушарной циркуляции. В межгодовой изменчивости МНТ доминируют эффекты, связанные с зимними внезапными стратосферными потеплениями (ВСП). Во время большого ВСП в январе 2009 г., которое пришлось на период низкой солнечной активности, наблюдалось понижение температуры на 50 К в области мезопаузы и резкое изменение направления ветрового потока.

Вертикальное зондирование ионосферы с минутным разрешением в обс. Соданкюля проводится непрерывно с 2007 г. Суперпозиция ионограмм позволяет выделить квазипериодические осцилляции высоты F-слоя с периодом от нескольких минут до часов, обусловленные акустико-гравитационными и гравитационными волнами (АГВ), а также определить амплитуду этих волн. Статистический анализ показывает наличие долгопериодных вариаций амплитуд, связанных с сезоном года, солнечной и геомагнитной активностью. При уменьшении мезосферной температуры во время ВСП на ионосферных высотах наблюдается резкое затухание амплитуды АГВ, особенно малых периодов. Анализ наблюдений спутника Aura показывает, что эффект может быть обусловлен углублением температурной инверсии в области мезопаузы и усилением турбулентных процессов, которые способствуют диссипации волн.

Variability of the dynamic and thermal regime in the auroral mesosphere inferred from the meteor radar and ionozonde data

Renata Lukianova[1] (r.lukianova@gcras.ru), Alexander Kozlovsky[2]
[1]*Geophysical Center RAS, 3 Molodezhnaya str., 119296 Moscow, Russia*
[2]*Sodankyla Geophysical Observatory, Tähteläntie 62 FIN-99600, Sodankyla, Finland*

Wind and temperature fields in the northern polar mesosphere-lower thermosphere (MLT) region are studied using observations by the meteor radar SKiYMET located at Sodankyla observatory (67° N, 26° E) since December 2008. The meridional winds are dominated by winter

poleward flow and more intense summer equatorward flow, with a jet core of about 15 m/s located slightly below the mesopause. The mean zonal winds are characterized with winter eastward flow (~ 10 m/s) at all heights and summer westward flow at lower height levels and eastward flow at upper levels, so that a wind shear of about 80 m/s occurs near the mesopause. Temperatures at 90 km height vary from ~ 100 K (summer) до 200 K (winter). The structure observed corresponds to the polar branch of the seasonal inter-hemispheric circulation. The MLT inter-annual variability is dominated by the effect related to a winter sudden stratospheric warming (SSW). During a major SSW of January 2009 (occurred during a period of low solar activity), a decrease of mesospheric temperature and a sharp wind reversal were observed.

At Sodankyla, a rapid-run (1-min resolution) ionosonde for vertical ionospheric sounding continuously operates since 2007. Superposition of the ionograms makes it possible to reveal quasi periodic oscillations of the F-layer height with a period from several minutes to hours which are related to the atmospheric acoustic-gravity and gravity waves. It is also possible to calculate amplitude of these waves in the ionosphere. Statistical analysis reveals long term variations of the wave amplitudes related to season, solar and geomagnetic activity. As the mesospheric temperature reaches its minimum during SSW, the ionospheric AGW with periods of 10–60 min decay abruptly while the AGWs with longer periods are not affected. Based on data of the Aura satellite observations we explain this effect by increased turbulence associated with a deepening of the mesopause inversion layer.

Особенности формирования глобальной циркуляции мезосферы и нижней термосферы по результатам новой модели атмосферы ИВМ РАН (ТСМТ-И, 0–130 км)

Кулямин Д.В.[1] (kulyamind@mail.ru), Дымников В.П.[2], Володин Е.М.[2]

[1]*Научно-исследовательский вычислительный центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИВЦ МГУ), Ленинские горы дом 1 стр. 4, 119991 Москва, Россия*

[2]*Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 119333 Москва, Россия*

Представленный доклад посвящен решению проблемы моделирования динамических процессов в верхней атмосфере на основе разработки и исследования новой модели общей циркуляции атмосферы, включающей тропосферу, стратосферу, мезосферу и нижнюю термосферу, а также нижние слои ионосферы ТСМТ-И (для высот 0–130 км). На базе атмосферного блока климатической модели INMCM создана новая модель атмосферы, включающая среднюю атмосферу и ионосферу до высоты 130 км. Для этого в атмосферном блоке модели был разработан и реализован в совместной модели новый вычислительный блок расчета радиационных притоков и стоков тепла. Его реализация состоит в согласованном объединении классического расчета радиационных притоков до высоты 60 км, и учета от 60 до 130 км нагрева за счет прямого поглощения коротковолнового солнечного излучения (поглощение молекулярным и атомарным кислородом и озоном в нескольких полосах жесткого ультрафиолетового излучения (10–200 нм)) и выхолаживания в условиях нарушения термодинамического равновесия (за счет излучения CO_2 на линии 15 мкм). Также при разработке глобальной модели атмосферы добавлены параметризации важных на высотах термосферы физических процессов: молекулярной диффузии и теплопроводности, а также ион-нейтрального взаимодействия.

В качестве локальной модели ионосферы был разработан отдельный вычислительный блок плазмохимической модели нижней ионосферы, согласованно включающий описание химических преобразований D слоя ионосферы (60–90 км, включающего уравнения для 5 компонент) и E слоя (90–120 км, 3 компоненты). В модели решаются 7 нестационарных уравнений плазмохимической кинетики для ионов O_2+, N_2+, NO+, O_2^-, семейств ионных кластеров C+, C^- и электронов. Для реализации совместной модели общей циркуляции атмосферы и нижней ионосферы была построена эффективная полунеявная численная схема

решения плазмохимической системы химических преобразований, обладающая законом сохранения заряда.

На данной основе создана новая совместная модель общей циркуляции тропосферы-стратосферы-мезосферы-нижней термосферы и ионосферы (ТСМТ-И). На основе ряда контрольных численных экспериментов по воспроизведению глобальных характеристик атмосферы и ионосферы проведена идентификация основных физических процессов и усовершенствование соответствующих параметризаций:

– проведен анализ роли неорографического гравитационно-волнового сопротивления (НГВС) в области МНТ по данным модели; показано, что данный процесс вносит ключевой вклад в формирование циркуляции как в мезосфере, так и в нижней термосфере: характерные величины ослабления циркуляции за счет параметризации ~ 90 м/с/день на высоте 90 км (что хорошо согласуется с принятыми оценками), и ~ 300 м/с/день на высоте 110 км (что в целом является завышенным по сравнению с имеющимися оценками);

– в модели атмосферы ТСМТ-И проведено согласование с ионосферным блоком реализации ион-нейтрального взаимодействия с помощью соответствующей параметризации; проведена идентификация вклада данного процесса в общую циркуляцию в области МНТ (в том числе в сравнении с данными модели термосферы ИВМ РАН (90–500 км) и известными эмпирическими оценками), показано его большое значение для формирования правильной циркуляции в термосфере (в основном для высотной области 110–130 км, максимумы вклада ионного трения находятся на верхней границе 130 км).

Проведена идентификация модели ТСМТ-И по данным климатологических наблюдений в области мезосферы и нижней термосферы. Модель общей циркуляции ТСМТ-И в целом хорошо воспроизводит особенности климатических характеристик области МНТ, температурный профиль и величины градиентов полюс-экватор соответствуют наблюдениям, нагрев летнего полюса в термосфере несколько завышен, структура и интенсивность струйных течений в целом верные. Для высот нижней термосферы характерны ошибки, связанные с заниженными величинами скоростей ветра, расположение струйных течений ниже, чем по эмпирическим данным, что скорее всего обусловлено завышенным действием волнового сопротивления и требует дальнейшего исследования.

Работа выполнена в ИВМ РАН за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-27-00126).

Global circulation formation in the mesosphere and lower thermosphere based on results of the new INM RAS atmospheric model (TSMTI-GCM, 0-130 km)

D.V. Kulyamin[1] (kulyamind@mail.ru), V.P Dymnikov[2], E.M.Volodin[2]

[1]*M.V. Lomonosov Moscow State University, Research Computing Center (RCC), 1 Leninskye gory, 119991 Moscow,Russia*

[2]*Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin str., 119333 Moscow, Russia*

The presented report deals with the modeling of upper atmosphere dynamical processes on the basis of a new atmospheric general circulation model TSMTI-GCM development, which includes troposphere, stratosphere, mesosphere and the lower thermosphere, as well as the lower ionospheric regions. Based on the atmospheric part of the INM RAS climatic model INMCM, a new general circulation model was created by adding the middle atmosphere and lower ionosphere up to an altitude of 130 km. A new computational unit for radiative processes calculation was developed for this purpose. Its implementation consists in the self-consistent combination of the classical approach to radiation processes calculation up to 60 km, and a new radiation unit for 60–130 km region for specific accounting the heating due to direct absorption of short-wave solar radiation (absorption by ozone, molecular and atomic oxygen in several bands of hard ultraviolet radiation (10–200 nm)) and the cooling in the non local thermodynamic equilibrium conditions (due to CO_2 15-μm line emission). Also for this global atmospheric model development new parametrizations of

the physical processes important at thermospheric altitudes were added: molecular diffusion and thermal conductivity calculation, as well as accounting for ion-neutral interaction.

As a local computational unit for the lower ionosphere a separate plasmochemical model was created, it consistently includes calculation of the chemical transformations in ionospheric D region (for altitudes 60–90 km, solving the non-stationary equations for 5 components) and E region (90–130 km, 3 components). A unified lower ionospheric model solves 7 non-stationary plasma-chemistry equations for the ions O_2+, N_2+, NO+, O_2^-, families of ion clusters C+, C^- and electrons. For implementation of this ionospheric module in the coupled atmospheric model an effective semi-implicit numerical method of plasma chemistry equations solving was developed, which possesses the charge conservation law.

Thus a new coupled general circulation model of the troposphere-stratosphere-mesosphere-lower thermosphere and ionosphere (TSMTI) was developed. The identification of main physical processes and improvement of the corresponding parametrizations for TSMTI model were carried:

– a role of the non-orographic gravitaty wave drag (NGWD) in the mesosphere-lower thermosphere region was analyzed, it has been shown that small-scale wave processes makes a key contribution to the formation of circulation both in the mesosphere and in the lower thermosphere: the values of the circulation slowdown due to wave drag are around 90 m/s/day at an altitude of 90 km (which is in good agreement with the accepted empirical estimates), and around 300 m/s/day at 110 km (which is generally overestimated in comparison with the available estimates);

– the ion-neutral interaction process relative role for the general circulation in mesosphere and lower thermosphere in TSMTI model was identified, it has been found (as one of the most important for the formation of proper circulation at thermospheric altitudes (110–130 km)), that the maximum contribution of ion-neutral drag is at the upper boundary of the model – 130 km).

The identification of the TCMT-I model climate the mesosphere and lower thermosphere was carried out based on climatological observations. The TSMT-I model reproduces the general climatic characteristics of the MLT region considerably well, temperature profile and the pole-equator gradients correspond to observations, the heating of the summer pole in the thermosphere is slightly overestimated and the structure and intensity of the jet streams are correct. For the lower thermosphere altitudes a model biases are associated with underestimated values of zonal wind velocities, the location of the jet streams maximums is also lower than in the empirical data, which is most likely due to an overestimated effect of the wave drad, these problems requires further investigation.

The presented work was carried in INM RAS and supported by Russian Science Foundation (project №14-27-00126).

Применение аппарата эмпирических ортогональных функций к анализу особенностей развития КДК

Ракушина Е. (zhenya_rakushina@mail.ru), Вэи К., Погорельцев А.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Воронежская ул. 79, 192007 Санкт-Петербург, Россия

Данная работа посвящена изучению явления экваториальной стратосферы – Квазидвухлетние Колебания (КДК). Среднемесячные значения экваториального зонального ветра в слое от 70 до 3 гПа были представлены в фазовом пространстве эмпирических ортогональных функций (ЭОФ). Коэффициенты двух главных компонент ЭОФ определяли двухмерное фазовое пространство для зонального ветра КДК. Полученные распределения коэффициентов были разделены на 8 фаз, описывающих вертикальное развитие КДК за период 1958–2014. Цель данного исследования изучить влияние каждой их 8-ми фаз КДК на внетропическую стратосферу.

Application of empirical orthogonal functions approach to the analysis of QBO evolution peculiarities

E. Rakushina (zhenya_rakushina@mail.ru), K. Vei, A. Pogoreltsev
Российский государственный гидрометеорологический университет, 79 Voronezhskaya str., 192007 Санкт-Петербург, Россия

This work is devoted to the study of equatorial stratospheric Quasi-Biennial Oscillation (QBO). The monthly mean values of equatorial zonal wind from 70 hPa up to 3 hPa level are represented in empirical orthogonal functions (EOF) phase space. Coefficients of the two leading EOF components define a two-dimensional phase space for the QBO zonal wind. The resulting distribution of these coefficients is divided into 8 phases, describing the vertical evolution of the QBO for the period since 1958 till 2014. The purpose of this research is to study the influence of each of eight QBO phases on extratropical stratosphere.

Модельное исследование осцилляции Маддена-Джулиана

Кандиева К.К. (kanykeikandieva@gmail.com), Анискина О.Г., Погорельцев А.И.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Осцилляция Маддена-Джулиана (ОМД) является доминирующим колебанием в тропической области и одним из существенных источников нагрева тропической атмосферы. Нагрев происходит из-за выделения скрытого тепла при конденсации водяного пара в процессе развития облачности. ОМД можно включить в модель общей циркуляции, как дополнительный источник тепла, с помощью которого можно будет исследовать влияние ОМД на динамические процессы во внетропической атмосфере. В частности, исследовать влияние ОМД на активность волновых процессов в зимней стратосфере.

Построение модельного источника основывается на основных характеристиках колебания. В работе источник ОМД представлен как движущийся вдоль экватора с фазовой скоростью порядка 5 м/с локализованный по долготе источник тепла (период волнового возмущения 45 суток и зональное волновое число $m = 2$). Метод верификации модельного источника по данным наблюдения (нагрева) основывается на поиске комбинации бегущих на восток волн, удовлетворяющих пространственным и количественным характеристикам колебания. Для обнаружения сигнала ОМД были выбраны годы с сильными событиями ОМД (амплитуда > 2 согласно индексу ОМД, разработанному Wheeler и Hendon). Полученный источник был включен в модель верхней и средней атмосферы. Были получены ансамблевые поля гидродинамических параметров. Исследовано влияние ОМД на активность внетропических стационарных планетарных волн в зимний сезон Северного полушария.

Model study of the Madden-Julian Oscillation

K.K. Kandieva (kanykeikandieva@gmail.com), O.G. Aniskina, A.I. Pogoreltsev
Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky ave., 195196 Saint-Petersburg, Russia

Madden-Julian oscillation is a dominant mode of atmospheric variation in the tropical region. Due to latent heat released during convection formation the MJO becomes a source of heat. This source of heat could be inserted in a numerical atmospheric model to study the influence of MJO on extratropical atmosphere, particularly, the influence of MJO on wave activity in winter stratosphere.

Model source represents all typical characteristics of oscillation. It is localized in the longitude moving source, which propagates to the east along the equator with a phase speed of about 5 m/sec (period of oscillation 45 days and zonal wavenumber $m = 2$). Idea of identifying the MJO structure with observation data is to combine eastward waves extracted from data using

wavelet analysis. Years with strong MJO events were picked as data samples (amplitude > 2 according to index suggested by Wheeler and Hendon). The model of middle and upper atmosphere was used to obtain the ensemble fields of meteorological parameters. Influence of MJO on activity of extratropical stationary planetary waves in Northern Hemisphere winter was studied.

Влияние ЭНЮК на динамический режим внетропической средней атмосферы

Ермакова Т.С. (taalika@mail.ru), Погорельцев А.И. (apogor@rshu.ru)
Российский государственный гидрометеорологический университет, Воронежская ул. 79, 192007 Санкт-Петербург, Россия

Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК) – атмосферное явление в тропосфере низких широт, которое невозможно игнорировать, так как оно оказывает влияние на погоду и климат планеты. ЭНЮК – важный предиктор климатических аномалий, глобальное воздействие которых наблюдается не только в тропиках, но и во внетропических областях, в том числе и через дальние связи. Естественно, стратосферные процессы участвуют в этих связях. В частности, значительные отклики на влияние ЭНЮК были обнаружены во внетропической стратосфере северного полушария в данных наблюдения и воспроизведены при моделировании. Однако дополнительный источник стационарных планетарных волн (СПВ) за счет выделения скрытого тепла, зависящего от фазы ЭНЮК, и вклад этого нагрева в зонально усредненный тепловой баланс тропосферы не рассматривались в явном виде. Поскольку выделение скрытого тепла варьируется в зависимости от фазы ЭНЮК, логично предположить, что термодинамический режим стратосферы может проявлять себя по-разному в разных условиях ЭНЮК (Эль-Ниньо, Ла-Нинья и нейтральная фаза).

Для анализа внетропического стратосферного отклика были выбраны пятнадцать зим с Эль-Ниньо, Ла-Нинья и нейтральной фазами (пять зим для каждой фазы). Распределения температуры, среднезонального ветра, а также поведение стационарных планетарных волн (СПВ) и распределение вертикальной составляющей потока Элиассена-Пальма были изучены с использованием данных реанализа MERRA. Было также проведено сравнение результатов отдельно для каждого зимнего месяца, для зимы в целом и получены усредненные поля для каждой фазы ЭНЮК. Показано, что стратосфера теплее во время Эль-Ниньо и холоднее в условиях Ла-Нинья по сравнению с климатическим распределением температуры. Противоположная ситуация наблюдается в мезосфере. Во внетропической стратосфере положительные отклонения среднего зонального ветра от климатических значений связаны с теплой фазой ЭНЮК, а зимой при Ла-Нинья преобладают отрицательные отклонения. Также отмечается изменение волновой активности СПВ с зональными волновыми числами 1 и 2 в разных условиях ЭНЮК. Наблюдаются различия не только в усилении и/или ослаблении планетарных волн, но и в высоте, на которой эти различия отмечаются. Результаты полученных ансамблевых расчетов с использованием модели средней и верхней атмосферы воспроизводят наблюдаемые различия в температуре, среднезонального ветра и амплитудах СПВ.

ENSO impact on the extratropical middle and upper atmosphere

T.S. Ermakova (taalika@mail.ru), A.I. Pogoreltsev (apogor@rshu.ru)
Russian State Hydrometeorological University, 79 Voronezhskaya str., 192007 Saint-Petersburg, Russia

One of the prominent atmospheric phenomena in the tropical troposphere is the El-Nino Southern Oscillation (ENSO). The ENSO is well recognized as a significant predictor of climate anomalies whose global impact is seen not only in the tropics but in extra-tropics as well through teleconnections. The stratospheric processes are naturally involved in these teleconnections. In particular, considerable ENSO signatures have been discovered in the northern extratropical

stratosphere in the observational data and reproduced in simulations. However, the changes in forcing of stationary planetary waves (SPWs) by the latent heat release dependent on the ENSO phase and contribution of this heating to the zonally averaged thermal budget of troposphere have not been considered explicitly in these studies. Since the amount of latent heat release varies based on ENSO phase, it is logically to assume that dynamical regime of the stratosphere may manifest itself in different way during different ENSO conditions (El Nino, La Nina and neutral).

Fifteen El Nino, La Nina and neutral winters (five winters for every ENSO event) have been selected to analyze the extratropical stratospheric response. Temperature, mean zonal wind distributions as well as stationary planetary waves (SPWs) behavior and the vertical component of Eliassen-Palm flux using MERRA reanalyses data have been examined for every winter. Evidently the stratosphere is warmer during El Nino and colder during La Nina events in comparison with the climatic temperature distribution. The opposite situation is observed in the mesosphere. In the extratropical stratosphere westward deviations of the mean zonal wind from climatic values are connected with warm ENSO phase while in La Nina winter the eastward deviations prevail. The amplitudes of SPWs with zonal numbers 1 and 2 also differ in terms of enforcing and/or weakening of wave activity and the altitudes at which these changes are observed. The results of ensemble simulation with the Middle and Upper Atmospheric Model reproduce the observed differences in zonal mean wind temperature and SPW amplitudes.

Исследование влияния солнечной активности на распространение нормальных атмосферных мод в термосфере

Коваль А.В.[1] (a.v.koval@spbu.ru), Гаврилов Н.М.[1], Погорельцев А.И.[2], Шевчук Н.О.[1]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский просп. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия*

Выполнено численное моделирование общей циркуляции атмосферы и амплитуд распространяющихся на запад нормальных атмосферных мод (НАМ) с периодами 4, 5, 7 и 10 суток. Произведены расчеты влияния изменения солнечной активности на зональную циркуляцию и амплитуды НАМ. В данном исследовании используется 3-мерная нелинейная модель циркуляции средней и верхней атмосферы МСВА, охватывающая высоты от поверхности до 300 км. С целью учета изменений солнечной активности (СА) в модели были заданы различные значения потока радиоизлучения солнца на волне 10.7 см, а также учитываются пространственные и временные распределения ионосферных проводимостей в термосфере.

Расчеты проведены для января–февраля для низкой и высокой СА. Расчеты показали, что изменение солнечной активности может существенно влиять на распространение НАМ как в термосфере, так и в средней атмосфере. При высокой СА наблюдается уменьшение амплитуды 5-дневной НАМ в средней атмосфере северного полушария, а в южном полушарии до высот 200 км наблюдается увеличение ее амплитуды. Для 10-дневной НАМ характерно уменьшение амплитуды на высотах больше 100 км при высокой СА. Различия в структуре распространения НАМ соответствуют рассчитанным изменениям показателя преломления атмосферы для НАМ и потока Элиассена-Пальма.

Investigation of the influence of solar activity on the propagation of atmospheric normal modes in the thermosphere

Andrey V. Koval[1] (a.v.koval@spbu.ru), Nikolai M. Gavrilov[1], Alexander I. Pogoreltsev[2], Nikita N. Shevchuk[1]

[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504, Saint-Petersburg, Russia*
[2]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinsky ave., 195196 Saint-Petersburg, Russia*

Numerical modeling of the general circulation of the atmosphere and the amplitudes of the westward propagating atmospheric normal modes (NMs) with the periods of 4, 5, 7 and 10 days is performed. Calculations of the effect of changes in solar activity on zonal circulation and NM amplitudes have been made. This study uses a three-dimensional nonlinear circulation model of the middle and upper atmosphere MUAM, covering the altitudes from the surface to 300 km. In order to take into account changes in solar activity (SA), various values of the solar radio emission flux at a wavelength of 10.7 cm are set in the model. Spatial and temporal distributions of ionospheric conductivities in the thermosphere are taken into account.

Calculations are performed for January–February for low and high SA. It is shown that changes in solar activity can significantly affect the propagation of NMs both in the thermosphere and in the middle atmosphere. At high SA, the amplitude of 5-day NM decreases in the middle atmosphere of the Northern hemisphere, while in the Southern hemisphere there is increase in its amplitude below 200 km. A 10-day NAM is characterized by a decrease in the amplitude at altitudes above 100 km at a high SA. Differences in the structures of NM distributions correspond to the calculated changes in the refractive indices of the atmosphere for NM and the Eliassen-Palm flux.

Исследования влияния сильных метеорологических штормов на ионосферу в восточной Европе

Борчевкина О.П.[1] (opsuslova@gmail.com), Карпов И.В.[1,2], Васильев П.А.[1], Бессараб Ф.С.[1,2]

[1]*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, ул. А. Невского 14, 236041 Калининград, Россия*
[2]*Филиал института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, пр. Победы 41, 236017 Калининград, Россия*

Метеорологические процессы в тропосфере являются источником внутренних волн широкого спектрального периода, которые переносят энергию и импульс возмущений из нижних в верхние слои атмосферы. Акустико-гравитационные волны (АГВ), распространяющиеся из нижней атмосферы и достигающие высот верхней атмосферы, могут вследствие процессов диссипации существенно влиять на характеристики вариаций параметров среды. Источниками возбуждения АГВ в нижней атмосфере могут являться метеорологические возмущения.

Наблюдения динамики ионосферных параметров, выполненные в условиях метеорологических штормов на ст. Калининград (54º N, 20º E) показали, что в вариациях полного электронного содержания (ПЭС) и критической частоты F2 слоя ионосферы (FoF2) отмечается понижение значений этих параметров по отношению к метеорологически спокойным дням. Результаты анализа ионосферных наблюдений показали, что в периоды метеорологических возмущений амплитуда суточных вариаций ПЭС уменьшается, достигая ~ 50 % по сравнению с метеорологическими спокойными днями. В вариациях критической частоты F-области ионосферы наблюдалось уменьшение амплитуды суточных колебаний до ~ 15 %. К тому же, в условиях метеорологических штормов отмечается увеличение числа ионосферных наблюдений с проявлением F-рассеяния. Наблюдение за изменением ПЭС в периоды усиления метеорологической активности также выявило повышение амплитуд вариаций параметров ионосферы с периодами 2–20 минут. Анализ ионосферных данных позволяет предположить, что возмущение, выявленное в ионосферных условиях,

определяется местными метеорологическими условиями. Возможной причиной ионосферных возмущений являются процессы, связанные с формированием локальных областей нагрева термосферы вследствие диссипации АГВ, приходящих в верхнюю атмосферу из области метеорологического возмущения в нижней атмосфере.

Для проверки предположения выполнен численный эксперимент с применением глобальной самосогласованной модели термосферы, ионосферы и протоносферы (ГСМ ТИП). В качестве термосферного источника возмущения был задан пространственно локализованный перемещающийся источник нагрева, моделирующий эффект диссипации АГВ, распространяющихся из области метеорологического шторма. Результаты расчетов демонстрируют динамику возмущений параметров верхней атмосферы и ионосферы, вызванных модельным источником. Физические процессы, определяющие возникающие возмущения ионосферы, обсуждаются.

Study of the influence of strong meteorological storm on ionosphere in Eastern Europe

O.P. Borchevkina[1] (opsuslova@gmail.com), I.V. Karpov[1,2], P.A. Vasilyev[1], F.S. Bessarab[1,2]

[1]*I. Kant Baltic Federal University, Physics Faculty, 14 A. Nevsky str., 236041 Kalinigrad, Russia*

[2]*Branch of N.V. Pushkov Institute of Earth Magnetism, Ionosphere and Radio-Wave Propagation, 41 Pobeda ave., 236017 Kalinigrad, Russia*

Structure and dynamics of the upper atmosphere are mainly caused by extraterrestrial sources, including the sun. Nevertheless, the impact coming from below also provides a significant contribution to the variability of the upper atmosphere. One of the widely discussed phenomena – meteorological activities in the troposphere. Meteorological processes in the troposphere are a source of strong internal waves of wide spectral period, which carry energy and momentum up through the atmosphere. Analysis of the experimental data from observations of the total electron content (TEC) and pressure shows that the meteorological storm influences on the ionospheric parameters. It has been found that the effects of meteorology appear in the ionosphere in the form of local areas of electron density reducing. Statistical methods of analysis of the ionosphere dynamics have indicated that ionospheric disturbances are not the random processes.

Results of the analysis of ionospheric observations have shown that during periods of meteorological disturbances the amplitude of the diurnal TEC variations decrease reaching about 50 % in relation to meteorological calm days. In variations of critical frequency of ionosphere F-area, the reduction of amplitude of daily fluctuations to ~ 15 % was observed. Besides under meteorological storm, the increase in number of ionospheric observations with F-scattering was noted. Observations of TEC changes during periods of meteorological activity strengthening has also revealed the increase in amplitudes of variations of ionosphere parameters with the 2–20 min periods. The analysis of ionospheric data allows us to assume that the the disturbance revealed in ionosphere is defined by local meteorological conditions.

To test the hypothesis the numerical experiment using global self-consistent model of the thermosphere, ionosphere and protonosphere (GSM TIP) was performed. Spatially-localized moving heat source, simulating the effect of AGW dissipation connected with meteorological storm, was preset as thermospheric source of disturbance. The calculation results demonstrate the dynamics of perturbations of upper atmosphere and ionosphere parameters caused by the source model. The physical processes that determine the resulting ionospheric disturbances are discussed.

These investigations were performed with financial support of the Russian Foundation for Basic Research Grants No. 15-05-01665 and the program to improve academic competitiveness 5-100 project IKBFU.

Особенности акусто-гравитационных возмущений в ионосфере от мегаполиса по GPS-данным

Захаров В.И.[1,2] (zvi_555@list.ru), Горчаков Г.И.[2]

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

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

Работа посвящена изучению волновых возмущений, проявляющихся на ионосферных высотах над мегаполисом, – на примере Москвы во время аномальной жары летом 2010 года. В работе совместно использованы уникальные базы GPS-данных СНГО г. Москвы, IGS, метеорологических данных ГОУ ГМЦ Российской Федерации, профилемеров ЦАО (Долгопрудный) и каф. атмосферы Физического факультета МГУ; обработано свыше 21 тыс. час. индивидуальных GPS-наблюдений и около 10 тыс. час. метеонаблюдений. Методом GPS-интерферометрии проведен мониторинг ионосферных неоднородностей в период с июня по август 2010 г. (всего 97 суток). Продолжительные наблюдения дают возможность выявить влияние мегаполиса на приземный слой атмосферы, изменения в котором, в свою очередь могут приводить к возникновению и распространению волновых возмущений в атмосфере.

В работах [1, 2] нами выделены волноподобные ионосферные неоднородности над крупным мегаполисом и проведено определение их параметров с применением специальных методик. Волновые структуры в целом образуют кольцо от 450 до 550 км, направления их движения составляют с горизонтом углы, соответствующие теоретической оценке для волн АГВ природы. Диапазон скоростей выделенных структур также соответствует указанному типу волн. Периоды структур лежат в диапазоне 40–120 мин, что соответствует собственным частотам атмосферы. В результате проведенной дополнительной обработки динамических спектров ионосферных структур определены периоды, когда наблюдались значительные изменения параметра α – спадания спектральной плотности выделенных структур. Под «значительным» понимается отклонение от среднего значения на величину более выборочной дисперсии, определенной для всего времени мониторинга.

Для объяснения и верификации полученных результатов проведен анализ метеорологических данных высокого пространственного и временного разрешения для Москвы и области за июнь–сентябрь 2010 г., описание данных и метеообстановки приведено в [3]. Получено, что в рассмотренный период мониторинга всплески параметра α для спектра волновых структур более чем в 90% случаев совпадают с развитием инверсии в нижнем слое атмосферы в ночные и утренние часы на фоне развития явления ГОТ. Вместе с тем, наличие инверсии не гарантирует резкого изменения указанного параметра. В данное время можно утверждать, что одним из вероятных и необходимым, но явно недостаточным условием изменения структуры спектра ионосферных неоднородностей является формирующаяся во время развития ГОТ инверсия температуры в пограничном слое атмосферы.

Исследования являются иллюстрацией влияния нижней атмосферы на процессы в верхней. Это влияние может быть выявлено по изменениям параметров ионосферных волновых структур, которые с помощью специальных алгоритмов классификации определяются методами GPS-интерферометрии. Проведенная работа, наряду с общефизическим, имеет несомненно важное экологическое значение и может оказаться полезной для построения различных моделей процессов в нижней атмосфере.

1. Захаров В.И., Горчаков Г.И., Куницын В.Е. Кольцо перемещающихся от московского мегаполиса ионосферных возмущений // ДАН, 2017. Т. 472, № 6. С. 1–3. Doi: 10.7868/S0869565217060196.
2. Zakharov V.I., Gorchakov G.I. GPS observation of traveling ionospheric disturbances related to Moscow megacity // Advances in Space Research. 2017. V. 59, N 2. P. 614–618. Doi: 10.1016/j.asr.2016.11.001.
3. Горчаков Г.И., Кадыгров Е.Н., Куницын В.Е., Захаров В.И и др. Московский остров тепла в блокирующем антициклоне летом 2010г. // Доклады Академии Наук. 2014. Т. 456, № 5. С. 591–595.

Features of the acoustic-gravity ionospheric disturbances related to megacity observed by GPS data

V.I. Zakharov[1] (zvi 555@list.ru), G.I. Gorchakov[2] (gengor@ifaran.ru)
[1]*Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia*
[2]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*

The work is devoted to the study of wave disturbances which appears on ionospheric heights over the city in the example of Moscow during 2010 summer's anomalous heat. Unique GPS data bases form MNGS (Moscow Navigational and Geodetic Support) and IGS, and meteorological databases from Hidrometeorological Centre of Russia (Moscow), Central Aerological Observatory and Faculty of Physics Lomonosov's Moscow State University (Atmospheric division) were used in the work. We processed over 21 thousand hours of individual GPS observations and about 10 thousand hours meteorological observations. Monitoring of ionospheric disturbances by GPS-interferometry technique is performed for period from June to August 2010 (97 days). Continuous observations provide an opportunity to identify the city impact on the atmosphere surface layer, changes in which, in turn, can lead to emergence and spread of wave ionospheric disturbances.

In papers [1, 2] we distinguished wave ionospheric disturbances over the city and determined their parameters using special techniques. A set of wave structures as a whole form a ring with a radius from 450 to 550 kilometers, directions of their movement are at angles corresponding to theoretical estimate for acoustic-gravity waves. Distinguished structures velocity range is also correspond to specified type of waves. Wave periods are in the range from 40 to 120 min, which corresponds to intrinsic atmospheric frequencies. As a result of additional processing of the ionospheric structures dynamical spectra, we identified periods when significant changes of parameter α were observed (α is a spectral density S decrease of specified structures wave vector k: $S \sim k^{-\alpha}$). By "significant" is understood deviation from the mean more than sample variance defined for the whole monitoring period.

For explanation and verification of obtained results, we performed analysis of meteorological data with high spatial and temporal resolution for Moscow city and region during the period from June to September 2010, to see the data and meteorological conditions description – please, see [3]. It has been shown that α parameter's bursts for wave structure spectrum more than in 90% of cases match with inversion development in lower atmospheric layer during night and morning hours against the background of UHI development for a whole period of observations. At the same time presence of inversion does not guarantee abrupt change of the specified parameter. At this time it is possible to affirm that one of probable and necessary but not sufficient condition for changing the structure of the ionospheric disturbance spectrum is temperature inversion in boundary atmospheric layer formed during UHI development.

Our studies are illustration of influence of the lower atmosphere on the upper atmospheric processes. That influence can be identified by changing of ionospheric wave structure parameters, which can be determined using GPS-interferometry technique and special classification algorithms. Work performed has not only general physical but also important ecological significance and can be useful for simulations of different processes in lower troposphere.

1. Zakharov V.I., Gorchakov G.I., Kunitsyn V.E. Ring of the ionospheric disturbances moving from the Moscow megalopolis // Doklady of the Russian Academy of Science. Earth Science section. 2017. Vol. 472, No.6. P. 1–3. Doi: 10.7868/S0869565217060196.
2. Zakharov V.I., Gorchakov G.I. GPS observation of traveling ionospheric disturbances related to Moscow megacity // Advances in Space Research. 2017. V. 59, N 2. P. 614–618. Doi: 10.1016/j.asr.2016.11.001.
3. Gorchakov G.I., Kadygrov E.N., Kunitsyn V.E., Zakharov V.I., et al. The Moscow heat island in the blocking anticyclone during summer 2010 // Doklady of the Russian Academy of Science. Earth Science section. 2014. Vol. 456, Part II. P. 736–740. Doi: 10.1134/S1028334X14060233.

Сравнение многолетних измерений внутренних гравитационных волн метеорным радаром и методом дрейфа ионосферных неоднородностей в Кольме

Гаврилов Н.М.[1] (n.gavrilov@spbu.ru), Якоби К.[2] (jacobi@server1.rz.uni-leipzig.de)
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Лейпцигский университет, Институт Метеорологии, Лейпциг, Германия*

Цифровые фильтры использованы для определения интенсивностей внутренних гравитационных волн (ВГВ) с периодами 1–6 час из данных наблюдений скорости ветра на высотах 80–110 км метеорным радаром в 2004–2016 гг. и методом дрейфа иносферных неоднородностей на высотах 80–110 км в 1983–2008 гг. в обсерватории Кольм (51.3° с.ш., 13.0° в.д.) Лейпцигского университета. Изучены высотно-временные изменения интенсивностей ВГВ в указанные годы. На высоте 88 км наблюдается хорошее соответствие между данными радиометеорных и дрейфовых измерений в 2004–2008 гг., когда оба метода использовались одновременно. Разработана процедура сшивания данных двух методов по измерениям в указанные годы. Это позволило получить непрерывные ряды измерений за период с 1983 по 2016 гг. Анализируются сезонные и межгодовые изменения интенсивности ВГВ.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 17-05-00458).

Comparison of multi-year measurements of internal gravity waves with meteor radar and the ionospheric irregularity drift method at Collm

N.M. Gavrilov[1] (n.gavrilov@spbu.ru), Ch. Jacobi[2] (jacobi@server1.rz.uni-leipzig.de)
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*University of Leipzig, Institute of Meteorology, Leipzig, Germany*

Digital filters are used for determining intensities of internal gravity waves (IGWs) with periods 1–6 hr from observational data on wind velocity at altitudes 80–110 km with meteor radar in 2004–2016 and with the ionospheric inhomogeneity drift method in 1983–2008 at Collm Observatory (51.3° N, 13.0° E) of the University of Leipzig. Height-temporal changes in IGW intensities during the mentioned years are studied. At the altitude of 88 km, there is a good agreement between radio meteor and drift measurements in 2004–2008, when both methods were used simultaneously. A procedure was developed to homogenize and combine the data of both methods in these years. This allowed obtaining continuous series of measurements for the time interval 1983–2016. Seasonal and interannual changes in IGW intensities are studied.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (# 17-05-00458).

Отклик 27-дневного периода вращения Солнца в вариациях потока гамма-квантов вторичной космической компоненты в приземной атмосфере

Салихов Н.М. (un5g@rambler.ru), Крякунова О.Н., Пак Г.Д.
Институт ионосферы, Каменское плато, 050020 Алматы, Республика Казахстан

Исследованы вариации потока гамма-квантов в приземной атмосфере, обусловленные вращением Солнца (27-дневные) и сезонными факторами. Регистрацию вариаций потока гамма-квантов вторичной космической компоненты осуществляли в круглосуточном режиме с помощью NaI (Tl) гамма-детектора диаметром 150 мм, расположенного на уровне земли в высокогорной местности на «Космостанции» 3340 м над уровнем моря (430° 02' 33.9" с.ш.; 760° 56' 38.1" в.д.). В работе использовались данные наблюдений с декабря 2013 г. по январь 2015 г.

Исследования показали, что в спектрах мощности временных вариаций гамма-квантов вторичной космической компоненты в приземной атмосфере присутствует ряд спектральных пиков, среди которых заметно выделяются три пика с периодами 45.34, 27.88 и 9.67 суток. Спектральный пик 27.88 суток очень близок по значению к 27–дневному периоду вращения Солнца. В связи с этим можно предположить, что в вариациях гамма-излучения приземной атмосферы мы наблюдаем эффект воздействия 27-дневного вращения Солнца. Спектральный пик с периодом 9.67 суток, с некоторым допущением можно отнести к высшей третьей гармонике 27-дневного вращения Солнца. Сравнивая полученные результаты с данными литературы, отметим, что в спектрах вариаций интенсивности галактических космических лучей, измеряемых нейтронными мониторами на Земле, практически постоянно выделяются пики в интервале периодов примерно от 20 до 40 суток, наибольшие из которых концентрируются вблизи 27 суток.

Расчет динамического спектра мощности вариаций гамма-квантов в интервале периодов 25–32 суток выявил наличие сезонного хода в его огибающей. Наиболее выраженные всплески огибающей динамического спектра мощности (25–32 суток) охватывали периоды весеннего и осеннего равноденствия, наименьшие наблюдались на протяжении июня и декабря месяцев, что отражает, по-видимому, влияние метеорологических факторов. Сезонный характер изменений огибающей динамического спектра показывает, что кроме влияния Солнца на вариации потока гамма-квантов в приземной атмосферы могут оказывать воздействие и другие факторы, например, метеорологические – дождь, град, снег, эманация радона из горных пород.

Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Аэрокосмического комитета Министерства оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан на 2015-2017 гг. по программе НТП-О.0674, проект №0115РК01275.

Manifestation of the 27-day solar rotation period in the intensity of background near-Earth gamma-radiation

N.M. Salikhov (un5g@rambler.ru), O.N. Kryakunova, G.D. Pak
Institute of Ionosphere, Kamenskoe plato, 050020 Almaty, Kazakhstan Republic

We investigated the intensity variations of the secondary cosmic ray gamma-radiation in the near-Earth atmosphere caused both by the rotation of the Sun and by local seasonal effects. The intensity of gamma-radiation was registered continuously with scintillation NaI(Tl) detector placed at the ground level of the Tien~Shan mountain station, at the height of 3340 m (43° 02' 33.9" N; 76° 56' 38.1" E) . The observation data for the period since December 2013 until January 2015 are used.

Our investigation has revealed a number of frequency peaks present in the power spectrum of time variations of the near-Earth gamma-radiation; the most prominent of them being the peaks with the periods of 45.3, 27.9, and 9.7 days. The 27.9d peak is very close to the mean period of Sun rotation (27d), so we can suppose that in spectrum of gamma-ray intensity the modulation on the part of the Sun is observed. With some assumption, the 9.7d peak can be connected with the upper third harmonic of solar rotation effect. The similar peaks within the 20–40d interval are found in variation spectra of the galactic cosmic rays and most of them are concentrated around the 27d value.

The envelope curve of the dynamic power spectrum of gamma-radiation intensity within the 25–32d interval demonstrates the its seasonal pattern. The most prominent envelope amplitudes are observed in equinoctial times, and the minimum ones in June and December which is probably caused by meteorological effects. So, besides the influence of the Sun another local metereologycal effects can interfere in variation of the near-Earth gamma-ray background intensity.

This work was supported by the Aerospace Committee of the Republic of Kazakhstan Ministry for Innovation and Development, as part of its Targeted Budgeting Program NTP-O.0674 for 2015–2017, project No. 0115RK01275

Многолетние изменения температуры нижней термосферы по наблюдениям ночного свечения гидроксила в Алма-Ате

Попов А.А.[1], Гаврилов Н.М.[1] (n.gavrilov@spbu.ru) Андреев А.Б.[2], Погорельцев А.И.[3]
[1]*Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия*
[2]*Институт ионосферы, Каменское плато, 050020 Алматы, Казахстан*
[3]*Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия*

Анализируются измерения темпратуры на высотах 80–100 км по наблюдениям ночного свечения гидроксила в Алма-Ате в 2012–2016 гг. Измерения выполнены прибором САТИ в 12 точках небосвода. Определены средненочные значения температуры. Исследованы сезонные и междугодовые изменения. Результаты сравниваются с другими наземными и спутниковыми измерениями температуры в мезсфере-нижней термосфере.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 17-05-00458).

Multi-year changes in the lower thermosphere temperature observed with nightglow hydroxyl emission in Alma-Ata

A.A. Popov[1], N.M. Gavrilov[1] (n.gavrilov@spbu.ru), A.B. Andreev[2], A.I. Pogoreltsev[3]
[1]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[2]*Institute for Ionosphere, Kamenskoye plateau, 050020 Almaty, Kazakhstan*
[3]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinskii ave., 195196 Saint-Petersburg, Russia*

Measurements of temperatures at altitudes of 80–100 km according to the observations of the night glow hydroxyl in Alma-Ata in 2012–2016 timeframe are analyzed. The measurements were performed with the SATI instrument at 12 points in the sky. Nightly-mean temperatures were defined. Seasonal and interannial changes were analyzed. The results are compared with other ground-based and satellite temperature measurements in the mesosphere-lower thermosphere region.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (# 17-05-00458).

События зимнего атмосферного блокирования в Западной Сибири в 2004–2016 гг. и их связь с аномалиями приземной температуры воздуха

Антохина О.Ю.[1] (olgayumarchenko@gmail.com), Антохин П.Н.[1], Девятова Е.В.[2]
[1]*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634055 Томск, Россия*
[2]*Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126-а, 664033 Иркутск, Россия*

Процессы атмосферного блокирования (блокинги) привлекают в последнее время все большее внимание. Одной из главных причин являются участившиеся природные катастрофы, в той или иной степени связанные с этим явлением. В представленной работе внимание сосредоточено на событиях зимнего блокирования (СЗБ) и их влиянии на приземную температуру воздуха в период 2004–2016 гг. в Западной Сибири. Период для исследования выбран из-за увеличения повторяемости и аномальности блокирований, начиная с 2003 г. [1] после относительно устойчивого периода, характеризующегося низкой повторяемостью.

Исследование проведено на основе данных реанализа ECMWF ERA-Interim (геопотенциал, приземная температура, потенциальная температура) и критерия атмосферного блокирования, предложенного в [2]. За дату начала всех зимних сезонов принято 1 ноября, за дату окончания – 31 марта. Для исследования выбирались СЗБ продолжительностью 5 и более суток. Всего было отобрано 15 событий, произошедших в декабре 2004, январе–феврале 2005, декабре 2005, ноябре 2006, январе 2008 (два события),

декабре 2008, декабре–январе 2010–2011, январе 2011, феврале 2011, декабре 2011, январе–феврале 2012, декабре 2012, феврале–марте 2015, декабре 2015–январе 2016. Для каждого из перечисленных периодов были рассчитаны отклонения приземной температуры воздуха относительно ее среднего значения за этот период в 1979–2015 гг. для двух широтных зон: 50–60º с.ш. и 60–70º с.ш. для того, чтобы оценить влияние СЗБ на северные и южные районы Западной Сибири. Кроме того для оценки характера адвективных переносов в периоды выбранных СЗБ мы проанализировали поведение потенциальной температуры на уровне динамической тропопаузы, более подробное описание этой характеристики и возможности применения приведены в [3].

Результаты анализа позволили продемонстрировать, что события блокирования, возникающие зимой в Западной Сибири, в большинстве случаев сопровождались увеличением приземной температуры в арктическом секторе Западной Сибири (выше 65º с.ш.) и снижением температуры в южных районах (50–60º с.ш.). Подобное обращение меридионального градиента температуры является следствием особенностей возникновения блокинга в зимний период. Как правило, возникновение блокинга сопровождалось адвекцией теплых воздушных масс с запада от исследуемого района, что сопровождается возникновением ярко выраженного гребня высокого давления и дальнейшей интрузией арктических воздушных масс в южные районы Сибири по восточной периферии этого гребня. Кульминацией развития процесса является «опрокидывание» гребня с отсечением области холодной ложбины.

Работа выполнена при поддержке: гранта РФФИ № 17-05-00119, РФФИ № 17-05-00374; Комплексной программы фундаментальных научных исследований Сибирского отделения РАН № II.2П «Интеграция и развитие» на 2017 год; проекта IX.135-6 «Исследование изменений компонент воздуха Сибирского региона, определяющих динамику радиационно значимых характеристик атмосферы»

1. Антохин П.Н., Антохина О.Ю. Девятова Е.В., Мартынова Ю.В. Атмосферные блокинги в Западной Сибири. Часть II: Долговременные вариации и их связь с климатической изменчивостью в Азии // Метеорология и гидрология (в печати).
2. Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking // Tellus. 1990. Vol. 42A. pp. 343–365.
3. Pelly J.L., Hoskins B.J. A new perspective on blocking // J. Atmos. Sci. 2003. Vol. 60, No 3. P. 743–755.

Wintertime atmospheric blocking events in Western Siberia in the period 2004–2016 and their connection with anomalies of surface temperature

O.Yu. Antokhina[1] (olgayumarchenko@gmail.com), P.N. Antokhin[1], E.V. Devyatova[2]
[1]*V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Ac. Zuev sq., 634021 Tomsk, Russia*
[2]*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126a Lermontov str., 664033 Irkutsk, Russia*

Atmospheric blockings are one of the main causes of many natural disasters (droughts, floods, fires, frosts) that have become more frequent recently. We study wintertime blocking events in 2004 –2016 over Western Siberia and their influence on the surface temperature. The period 2004–2016 is very interesting for study because there has been an increase in the blocking frequency over Western Siberia beginning with 2004 [1].

In the work we used data ECMWF ERA Interim (geopotential, surface temperature) and criterion proposed by Tibaldi and Molteni [1]. We investigated blockings events with a duration of 5 days or more for winter intervals (1 November–31 March). We chose 15 blockings events: December 2004, January–February 2005, December 2005, November 2006, January 2008 (two events), December 2008, December–January 2010–2011, January 2011, February 2011, December 2011, January–February 2012, December 2012, February–March 2015, December 2015–January 2016. For each event we calculated surface temperature anomaly in the grid points for two sectors 60–90º E; 50–60° N (southern part of West Siberia) and 60–90° E; 60–70° N (northern part of West Siberia). Anomalies were calculated as deviation of daily surface temperature values from 1979–2015 mean. To estimate advective transfer for studied 15 events we analyzed the potential temperature on the dynamical tropopause [3].

We have shown that wintertime blocking events over the Western Siberia lead to the surface temperature increase in the northern part of West Siberia and to the surface temperature decrease in the southern part of West Siberia. This feature apparently due to warm air masses advection from south-west on the western periphery of the blocking ridge (reinforcing it) and arctic air masses intrusion to the southern part of the Western Siberia on the eastern periphery of this ridge.

This research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grants no. 17-05-00119 and no. 17-05-00374), the RAS Presidium (program no. IX.135-6) “Study of changes in the air composition over Siberia governing dynamics of radiation-important properties of the atmosphere”, the Program of Fundamental Scientific Research of the SB RAS No. II.2P "Integration and Development" 2017.

1. Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Devyatova E.V., Martynova Yu.V. Atmospheric blocking in Western Siberia. Part II: Long-term variations and the connection with climate variability in Asia // Russian Meteorology and Hydrology (in press).
2. Tibaldi S., Molteni F. On the operational predictability of blocking // Tellus. 1990. Vol. 42A. P. 343–365.
3. Pelly J.L., Hoskins B.J. A new perspective on blocking // J. Atmos. Sci. 2003. Vol. 60, No 3. P. 743–755.

Стратосферно-тропосферное динамическое взаимодействие после внезапного стратосферного потепления в Арктике в конце января 2017 г.

Варгин П.Н. (p_vargin@mail.ru)
Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, ул. Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Зимний сезон 2016–2017 г. характеризуется высокой изменчивостью стратосферного полярного вихря. Минимальные значения зональной температуры полярной стратосферы наблюдались с конца декабря до середины января, были примерно на 5 К ниже средне-климатических значений и около пороговых значений формирования полярных стратосферных облаков 1-го типа и сравнимыми с наиболее низкими температурами для этого периода в самые холодные зимние сезоны за последние 20 лет. Произошедшее в конце января внезапное стратосферное потепление (ВСП) привело к сильному замедлению зональной циркуляции стратосферы (с 50 м/с до почти нуля на 10 гПа) и ослаблению стратосферного полярного вихря (индекс NAM уменьшился от 1.5 до – 2.5 на 10 гПа с 16 по 31 января 2017 г.). Индекс Арктической циркуляции также стал отрицательным на протяжении следующих двух недель. В нижней стратосфере в полярной области температура увеличилась примерно на 20 К. ВСП сопровождалось ростом волны 1 и смещением стратосферного полярного вихря от полюса к Европе. Уменьшение амплитуды волны 1 и увеличение волны 2 в нижней стратосфере привело к разделению стратосферного полярного вихря на две части примерно через неделю после центральной даты ВСП.

Распространение потоков волновой активности (ПВА) было проанализировано с использованием векторов Пламба. Усиленное распространение ПВА перед ВСП наблюдалось над севером Евразии и предшествовало сильному распространению ПВА из верхней-средней стратосферы в нижнюю и в тропосферу над Канадой и северо-западом Атлантики в период примерно 2–12 февраля. В результате этого распространения зональный поток тепла в нижней стратосфере был отрицательным несколько дней. Усиленное распространение ПВА из стратосферы в тропосферу предшествовало усилению распространению волновых цепочек в верхней тропосфере над Канадой северной Атлантикой и Европой, которое могло привести к усилению блокирующего антициклона над Европой 12–15 февраля 2017 г.

Stratosphere-troposphere dynamical coupling after SSW event in Arctic in late January 2017

P.N. Vargin (p_vargin@mail.ru)
Central Aerological Observatory, 3 Pervomaiskaya st., 141700 Dolgoprudnyi, Moscow reg., Russia

Arctic winter 2016–2017 is characterized by high variability of stratospheric polar vortex. The minimum zonal temperature of the polar lower stratosphere was observed from the late December till the middle of January and was on about 5 K less the climatological mean, nearby the level of PSC-I formation and comparable with corresponding temperature for this period of the past coldest winter seasons in the recent 20 years. Than SSW event observed in the end of January led to strong deceleration of polar night jet (from 50 m/s to nearby zero at 60º N and 10 hPa) and weakening of stratospheric polar vortex (NAM index at 10 hPa decreased from 1.5 to – 2.5 from 16 to 31 January). AO index became negative over next two weeks. Simultaneously temperature mean 70–90º N increased on about of 20 K in the lower-middle stratosphere. The SSW was accompanied by wave 1 increase, shift of the polar vortex toward Europe. Decrease of wave 1 and increase of wave 2 resulted in split of the polar vortex into two parts in the lower stratosphere a week after the mature phase of SSW.

Propagation of wave activity fluxes (WAF) was analyzed by calculation of 3D Plumb fluxes. Enhanced upward propagation of WAF in the middle-lower stratosphere in the pre-warming period was observed over Northern Eurasia and was followed by the strong downward propagation of WAF to the lower stratosphere-upper troposphere over Canada – north-western Atlantic on 2–12 February. As a result of this strong downward propagation of WAF the zonal mean heat flux in the lower-middle stratosphere became negative over several days. Downward propagation of WAF was followed by eastward propagation of Rossby wave train in the upper troposphere over Canada–northern Atlantic and Europe that might have contributed to the strengthening of blocking high over Europe on 12–15 February. The other periods of stratosphere-troposphere coupling of the winter 2016–2017 and previous 2015–16 are discussed.

Influence of the Monsoon Trough on Westward-Propagating Tropical Waves over the Western North Pacific

Liang Wu (wul@mail.iap.ac.cn)
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; P.O. BOX 2718, 100190 Beijing, China

The present study investigates the possible linkage between the MT and the interannual variability of the activity of WTW over the WNP during July–November for the period 1979–2007. It is shown that the interannual variability of WTW activity is closely related to the location of the MT. During the years when the enhanced (weakened) MT extends eastward (retreats westward), the lower-tropospheric WTW activity is above (below) normal within the southeastern quadrant of the WNP. Furthermore, this study evaluates different wave structures and dynamics of two types of WTWs, equatorial Rossby (ER) waves and mixed Rossby-gravity (MRG)-tropical depression (TD)-type waves, in strong MT (S–MT) and weak MT (W–MT) years over the WNP. There is a significant change in the three-dimensional structure as those waves propagate westward to the east of the MT. For the TD–MRG waves, an apparent transition from MRG waves to off-equatorial TD disturbances is identified in the region of the MT. For the ER waves, their amplitudes have a faster growth, but their structures and propagation characters have no marked change. Differences in the location of the monsoon trough may lead to an east–west contrast in the WTWs.

The barotropic conversion associated with the MT is the most important mechanism for the growth of eddy energy in both TD–MRG and ER waves. The large rotational flows help to maintain the rapid growth and tilted horizontal structure of the lower-tropospheric waves through a positive feedback between the wave growth and horizontal structure. The baroclinic conversion process associated with the MT contributes a smaller part for TD–MRG waves, but is of importance

comparable to barotropic conversion for ER waves as it can produce the tilted vertical structure. The growth rates of the waves are much larger during strong MT years than during weak MT years. Numerical experiments are conducted for an idealized MRG or ER wave using a linear shallow-water model. The results confirm that the monsoon background flow can lead to an MRG-to-TD transition and the ER wave amplifies along the axis of the MT and is more active in the strong MT state. This indicates that the mean flow of the MT provides a favorable background condition for the development of the waves and acts as a key energy source.

The effect of super volcanic eruptions on ozone depletion in a chemistry-climate model

Luyang Xu[1, 2], Ke Wei[1], S.P. Smyshlyaev[3], Wen Chen[1]

[1]*Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 100190 Beijing, China*

[2]*University of Chinese Academy of Sciences, 100049 Beijing, China*

[3]*Russian State Hydrometeorological University, Malookhtinskii pr. 98, 195196 Saint-Petersburg, Russia*

The Mount El Chichón and Mount Pinatubo ejected large load of sulfate aerosols into the stratosphere, causing ozone depletion around the global. In order to study the impact of volcanic aerosols on stratospheric ozone, we used a coupled CCM to simulate the ozone mixing ratio after those two volcanic eruptions, then compared with the reanalysis data with and without ENSO and QBO signals. Meanwhile, we adopted two methods to analysis volcanic signals with different reference backgrounds. Method A reflected more comprehensive effects of volcanic aerosols, including chemistry, radiation and dynamics, while Method B mainly showed the chemistry effects. Then we multiplied SAD of Mount Pinatubo by two and 100 to conduct other two model runs.

The results showed that total column ozone depletion of double SAD scenario over 60° S to 60° N was about 7 % and 100 times SAD scenario is around18 %, both much larger than the 2.5 % of the worst depletion of artificial ozone decreasing in the 1980s to 1990s. Furthermore, in south pole regions, the dynamical and radiative effects also have strong impacts in decreasing ozone.

Отрицательные аномалии озонового слоя над Россией

Никифорова М.П.[1] (nikiforovamp@yandex.ru), Звягинцев А.М.[2] (zvyagintsev45@yandex.ru), Варгин П.Н.[2], Иванова Н.С.[2], Лукьянов А.Н.[2]
[1]*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, ул. Астана Кесаева 14, 299038 Севастополь, Россия*
[2]*Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, ул. Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия*

Поле общего содержания озона (ОСО) в земной атмосфере обладает существенной пространственно-временной неоднородностью. Выделяются его долговременные и периодические изменения (сезонный ход), а также нерегулярные явления озоновых аномалий (отклонений от климатической нормы) как положительных, так и отрицательных. Ввиду защитных функций озонового слоя, наибольший интерес представляет выявление условий и факторов возникновения отрицательных аномалий озона.

В работе рассмотрены наиболее значительные отрицательные аномалии озонового слоя над Россией, наблюдавшиеся в период с 1973 г. В качестве фактического материала использованы данные как наземной национальной сети озонометров М-124, так и результаты спутникового мониторинга. Установлено, что, как правило, над территорией РФ существенные отрицательные озоновые аномалии наблюдаются в северных регионах и могут быть условно разделены на два типа. Первые отличаются крайне низкими абсолютными значениями ОСО и возникают в период минимума годового хода озона (сентябрь–декабрь), при этом ОСО могут опускаться ниже 220 е.Д. на площади до 3 млн. км^2 и продолжительностью до 2–5 суток. Такие эпизоды считаются «мини-дырами» (по аналогии с определением «озоновой дыры») и наблюдаются в районе 60-й параллели с.ш. на территории от западных границ России до Урала. Возникают они над Северной Атлантикой и практически зонально перемещаются к востоку, постепенно затягиваясь по пути. Второй тип отрицательных аномалий озона над территорией РФ характеризуется значительными отклонениями значений ОСО от климатической нормы в процентном соотношении. Возникают они вблизи максимума годового хода озона (декабрь–март) при устойчивом, изолированном, мощном циркумполярном вихре. Аномалии озонового слоя составляют в этом случае более 2.5 стандартного отклонения, однако характеристик «мини-дыры» за весь период инструментальных наблюдений достигли лишь однажды. В конце января 2016 г. "мини-дыра" образовалась в районе Печоры (65° с.ш., 57° в.д.) и "дошла" до Туры (64°°с.ш., 100° в.д.); ОСО в ней опускалось до 190 е.Д.

В работе рассмотрены связи аномалий полей озона и метеорологических элементов. Показано, что все эпизоды озоновых «мини-дыр» имеют динамическое происхождение. В формировании продолжительных эпизодов отрицательных озоновых аномалий над территорией России участвуют как динамические, так и химические факторы. За время более чем полувековых наблюдений в высоких широтах Северного полушария значительные аномалии ОСО со временем жизни 1 мес. и более наблюдались в январе–марте 1995–1997, 2000, 2005, 2011 и 2016 гг., дефицит среднего за 1 мес. общего содержания озона составлял в

них до 35 %, а в отдельные дни до 45 %. Сформировались они в условиях крайне низких температур стратосферы и были связаны с нехарактерным поведением циркумполярного вихря, который в эти годы был необычно глубоким, устойчивым и длительным. Крайне необычные условия продемонстрировал зимне-весенний сезон 2015/2016 гг., показав наибольший потенциал к химическим потерям озона, когда в декабре–январе наблюдались рекордно низкие температуры стратосферы. И лишь благодаря достаточно раннему наступлению финального стратосферного потепления (6–8 марта), приведшему к разделению и окончательному разрушению циркумполярного вихря, химическое разрушение озона в 2016 г. стало лишь третьим за всю историю наблюдений. Также подробно рассмотрены наиболее значительные весенние озоновые аномалии в 1997 и 2011 гг., когда дефициты ОСО по отношению к средним многолетним значениям составляли около 150 е.Д. В работе высказаны предположения о возможности появления значительных отрицательных озоновых аномалий в будущем.

Negative anomalies of the ozone layer over Russia

M.P. Nikiforova[1] (nikiforovamp@yandex.ru), A.M. Zvyagintsev[2] (zvyagintsev45@yandex.ru), P.N. Vargin[2], N.S. Ivanova[2], A.N. Luk'yanov[2]
[1]*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 14 Astana Kesaeva str., 299038 Sevastopol, Russia*
[2]*Central Aerological Observatory, 3 Pervomaiskaya str., 141700 Dolgoprudnyi, Moscow reg., Russia*

Total ozone content (TOC) in the Earth atmosphere has a significant spatio-temporal heterogeneity. The long-term and periodic changes (seasonal cycle) and occasional episodes of the positive and negative ozone anomalies (deviations from climatic normal) can be identified. As ozone layer absorbs 97–99 % of the sun's high frequency ultraviolet light, which is potentially damaging to life on Earth, it is of interest to reveal the conditions and factors of occurrence of ozone negative anomalies.

The study deals with the most significant negative anomalies of the ozone layer over Russia, observed since 1973. Ground-based data from national network of ozonometers M-124 and the results of satellite monitoring (TOMS/SBUV/OMI, GOME/SCIAMACHY/GOME2) are used. It is identified, that the significant negative ozone anomalies observed usually over the Russia are of two types. Anomalies of the first type are characterized by extremely low TOC absolute values and usually arise around the minimum of the ozone annual cycle (September–December). In the process TOC values can drop below 220 DU over the area of 3 million km^2 and up to 2–5 days. Such episodes are considered as ozone "mini-holes" (by analogy with the definition of "ozone hole") and mostly are observed nearby 60° N over the territory from the Russia western borders to the Urals. They are formed over the North Atlantic and almost zonally move eastwards, gradually vanishing along the way. Ozone negative anomalies of the second type are characterized by significant deviations of TOC values from the climatic normal in percentage. They arise around the maximum of the ozone annual cycle (December–March) under steady, well isolated stratospheric polar vortex. In this case ozone layer anomalies are more than 2.5 standard deviations, however, the characteristics of ozone "mini-hole" were reached only once over the entire period of instrumental observations. At the end of January 2016 ozone "mini-hole" was formed over Pechora (65° N, 57° E) and moved to Toura (64° N, 100° E) with minimum TOC values of 190 D.U.

In the report, relationships between ozone anomalies and meteorological conditions are discussed. It is shown, that all the episodes of ozone "mini-holes" have a dynamic origin. Long-term negative ozone anomalies over Russia are caused both by dynamical and chemical factors. During more than half a century of observations in the high latitudes of the Northern hemisphere significant TOC anomalies with the lifetime of 1 month or more were observed in January–April of 1995–1997, 2000, 2005, 2011 and 2016. In the process, average monthly deficit of total ozone was up to 35 %, and on some days up to 45 %. They were formed in conditions of extremely low stratosphere temperatures and were linked to unusual behavior of the circumpolar vortex, which was unusually deep, sustainable and long-lasting. Extremely unusual conditions were demonstrated during the

winter–spring season of 2015/2016, with the largest potential for chemical ozone loss in December–January record low stratosphere temperatures were detected. Only due to the early final stratospheric warming (March 6–8), which led to the breaking and destruction of the circumpolar vortex, the chemical ozone losses in 2016 reached only third value for all the history of observations. In detail the most significant springtime ozone anomalies of 1997 and 2011 are discussed, when the deviations of TOC values from climatic normal were about 150 DU. The possibility of significant negative ozone anomalies in the future is considered.

Пониженное содержание озона в средней и в верхней стратосфере над Москвой в зимне-весенний период 2015–2016 гг.

Кропоткина Е.П. (kep@sci.lebedev.ru), Соломонов С.В., Розанов С.Б., Игнатьев А.Н., Лукин А.Н.

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

Наблюдения озона в средней и верхней стратосфере (в слоях на высотах 30–40 км) являются актуальной задачей. Известно [1], что к разрушению озона в этих слоях стратосферы приводит происходящее увеличение N_2O и, кроме того, комбинированное влияние на озон всех факторов – озоноразрушающих веществ (хлорфторуглеводородов), азотных окислов, парниковых газов, – которое наиболее выражено в верхней стратосфере на уровне 2 мбар (высота около 40 км). Выполняемый в ФИАН на миллиметровых волнах мониторинг озона, в отличие от других методов, позволяет получать надёжные данные о вертикальном распределении этой важной газовой составляющей в широком диапазоне высот, включая среднюю и верхнюю стратосферу.

Представлены новые данные об изменениях вертикального распределения озона в стратосфере над Москвой в холодное полугодие 2015–2016 гг. Этот период существенно отличался от предыдущих зим более интенсивным полярным стратосферным вихрем, который был разрушен внезапным мажорным потеплением в начале марта 2016 г. Рассмотрены особенности изменений озона и изучена их связь с динамикой и тепловым режимом стратосферы. Значительную часть времени отношение смеси озона C_{O3} было ниже многолетних средних значений, полученных в ФИАН. Понижения C_{O3} наблюдались в средней стратосфере уже в ноябре и декабре 2015 г., а наибольшие уменьшения C_{O3} на 30 % и более на уровне 10 мбар (высота примерно 30 км) происходили в конце января, в начале и во второй половине февраля, в марте 2016 г. Существенно, что содержание озона изменялось в больших пределах. Например, в январе C_{O3} изменялось от 4.3 до ~ 7.3 ppm на 10 мбар.

Обнаружена связь изменений озона с процессами переноса воздушных масс в стратосфере, с влиянием полярного вихря. Характеризующий эту связь коэффициент корреляции «озон–потенциальная завихренность» с декабря по март составил $k = -0.77$ для озона на уровне 10 мбар и для потенциальной завихренности на уровне потенциальной температуры $\theta = 850$ К. Для связи C_{O3} с температурой получен коэффициент корреляции $k = 0.69$ для того же периода.

В верхней стратосфере значительные понижения озона, составлявшие ~ 30 % от среднемесячных значений, наблюдались в феврале–марте 2016 г. Коэффициент корреляции между озоном и температурой на уровне 2 мбар в эти месяцы оказался отрицательным и равным – 0.70. Т.е. в конце зимы и в начале весны изменения озона в условиях солнечного освещения определялись, в значительной степени, зависящими от температуры фотохимическими процессами. Напротив, в декабре и январе изменения озона на этом уровне были вызваны, в основном, переносом воздушных масс. Для связи озона на уровне 2 мбар и потенциальной завихренности на близком по высоте уровне с $\theta = 1500$ К получено значение коэффициента корреляции $k = -0.76$ для этих месяцев.

Таким образом, в декабре 2015 и в январе 2016 гг. изменения озона на 2 мбар над Москвой были связаны с динамическими процессами, а в зимне–весенний период, в

феврале–марте, изменения озона были обусловлены, в большей степени, влиянием фотохимических факторов. Полученные результаты важны для интерпретации трендов озона и проверки численных моделей атмосферы.

Работа поддержана Программами ОФН РАН «Новые источники миллиметрового и терагерцового излучения и их перспективные приложения» и «Радиоэлектронные методы в исследованиях природной среды и человека».

1. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014 World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project. – Rep. No.55, WMO, Geneva, 2014.

Decreased ozone content in the middle and upper stratosphere over Moscow in winter–spring season of 2015–2016

E.P. Kropotkina (kep@sci.lebedev.ru), S.V. Solomonov, S.B. Rozanov, A.N. Ignatyev, A.N. Lukin

P.N. Lebedev Physical Institute RAS, 53 Leninsky ave., 119991 Moscow, Russia

Ozone observations in the middle and upper stratosphere (altitudes of 30–40 m) are an actual problem. It is known that ozone destruction in the layers of stratosphere results from currently increasing N_2O content, the influence on ozone of all factors including ozone destructive substances (chrorofluorocarbons), nitric oxides, and greenhouse gases that is most expressed in the upper stratosphere at 2 mbar pressure level (the altitude of about 40 km) [1]. Unlike other methods millimeter-wave ozone monitoring performed at the Lebedev Physical Institute RAS (LPI) provides reliable data on vertical ozone distribution for wide altitude range including the middle and upper stratosphere.

The cold season 2015–2016 was noticeably different from previous winters in more intensive stratospheric polar vortex which was destroyed by sudden major warming at the beginning of March 2016. Most of the time ozone mixing ratio C_{O3} was below the long-term average of the values obtained at the LPI. Decline in C_{O3} in the middle stratosphere was firstly observed in November and December 2015, but the most strong decrease in C_{O3}, up to 30% and more at 10 mbar (altitude about 30 km), occurred at the end of January, in early and in the second half of February, and in March 2016. It is important that the ozone content changed in wide range, in January C_{O3} varied from 4.3 to ~ 7.3 ppm at 10 mbar.

The changes in ozone were related with air masses transport and influence of the polar vortex. From December to March the correlation coefficient “ozone–potential vorticity” was $k = -0.77$ for ozone at 10 mbar and potential vorticity at close in height $\theta = 850$ K potential temperature level. Correlation coefficient “ozone–temperature” was $k = 0.69$ for the same period.

In the upper stratosphere considerable ozone decrease reaching 30 % of the average monthly values was observed in February–March. Correlation coefficient “ozone–temperature” at 2 mbar was negative and equal to – 0.70 for the months. So at the end of winter and beginning of spring under the solar lighting changes in ozone were determined mainly by photochemical processes depending on temperature. On the contrary, in December and January ozone variations at the level were caused mainly by air masses transport. For the months correlation coefficient between ozone at 2 mbar and potential vorticity at close in height $\theta = 1500$ K level was $k = -0.76$.

Thus, during the first part of the cold season 2015–2016, in December and January, changes in ozone at 2 mbar resulted from dynamical processes, but in winter–spring months, in February and March, the changes were caused mainly by photochemistry. The results are important for interpretation of ozone trends and validation of numerical models of the atmosphere.

The research was supported, in part, by programs of the Department of Physical Sciences of the RAS “New sources of millimeter and terahertz radiation and their prospective applications” and “Radio and electronic methods in studies of environment and human”.

1. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014 World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project. – Rep. No.55, WMO, Geneva, 2014.

Особенности поведения озона средней атмосферы в полярных и умеренных широтах во время стратосферных потеплений

Куликов Ю.Ю.[1] (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Маричев В.Н.[2], Поберовский А.В.[3], Рыскин В.Г.[1], Юшков В.А.[4]

[1]*Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия*

[2]*Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический пр. 1, 634055 Томск, Россия*

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

[4]*Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская ул. 3, 141700 Долгопрудный Моск. обл., Россия*

В настоящей работе мы представляем результаты микроволновых наблюдений внезапных стратосферных потеплений в течение ряда зим 2012–2013 гг., 2013–2014 гг. и 2016 г. В измерениях были использованы данные идентичных озонометров (рабочая частота 110836.04 МГц). Один из приборов был установлен на постоянной основе, на кафедре физики атмосферы физического факультета в Петергофе [1]. Петергоф расположен в 28 км к западу от центра Санкт-Петербурга. Другой прибор временно располагался в Институте оптики атмосферы СО РАН в Томске и использовался в совместных микроволновых и оптических наблюдениях озона и температуры средней атмосферы зимой в 2012–2013 гг. и 2013–2014 гг.

По измеренным микроволновым спектрам озона были оценены его вертикальные профили в интервале высот 22–60 км. Профили были сопоставлены с бортовыми приборами MLS/AURA и SABER/TIMED [2]. Для зимы 2016 года были привлечены данные озонозондов ряда станций, которые расположены за Полярным кругом – это Салехард (67° N, 67° E), Sodankyla (67° N, 27° E) и Summit (73° N, 38° W). В обсуждаемых стратосферных потеплениях можно выделить уникальное потепление зимой 2012–2013 гг., которое существенным образом повлияло на вертикальную структуру средней атмосферы в умеренных широтах [3]. В последующих зимах потепления были не столь значительными, но они имели совершенно разный характер воздействия на среднюю атмосферу в умеренных и в полярных широтах [4]. Развитие потепления в полярных широтах и его влияние на озон и температуру на высотах выше 20 км происходило, как правило, по классической схеме сверху вниз [5]. Экспериментальное подтверждение этой схемы можно найти в работах [6, 7]. Особенностью полярных широт является ежегодное образование полярного вихря, который приводит к изменению состава и структуры средней атмосферы. Разрушение полярного вихря по-разному влияет на атмосферу умеренных и полярных широт.

Наше исследование поддержано грантом РФФИ № 15-05-04249. Наземные микроволновые измерения озона в Петергофе профинансированы из средств гранта РНФ № 14-17-00096.

1. Тимофеев Ю.М., В.С. Косцов, А.В. Поберовский и др. Измерение вертикальных профилей содержания озона над Санкт-Петербургом наземной микроволновой аппаратурой // Вестник СПбГУ. 2008. Вып. 4. С. 44–53.
2. Russell III J.M., M.G. Mlynczak, L.L. Gordley, et al. Overview of the SABER experiment and preliminary calibration results // Proc. SPIE. 1999. Vol. 3756. P. 277–288.
3. Маричев В.Н., Г.Г. Матвиенко, А.А. Лисенко и др. Микроволновые и оптические наблюдения озона и температуры средней атмосферы во время стратосферного потепления в Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 1. С. 46–52.
4. Бочковский Д.А., Я.А. Виролайнен, Ю.Ю. Куликов и др. Наземный микроволновый мониторинг озона средней атмосферы над Санкт-Петербургом и Томском во время стратосферного потепления зимой 2013–2014 гг. // Изв. ВУЗов, Радиофизика. 2016. Т. 59, № 4. С. 299–307.
5. Schoeberl M.R. Stratospheric warming: Observations and theory // Rev. Geophys. 1978. Vol. 16, No 4. P. 521–538.
6. Куликов Ю.Ю., А.А. Красильников, В.Г. Рыскин. Особенности поведения озона верхней атмосферы зимой 1999/2000 гг. по результатам одновременных микроволновых наблюдений в Нижнем Новгороде (56° с.ш., 44° в.д.) и Апатитах (67° с.ш., 35° в.д.) // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т. 42, № 2. С. 265–273.

7. Manney G.L., Michael J. Schwartz, Kirstin Krüger, et al. Aura Microwave Limb Sounder observations of dynamics and transport during the record-breaking 2009 Arctic stratospheric major warming // Geophys. Res. Lett. 2009. Vol. 36, L12815, doi: 10.1029GL038586.

The behavior of ozone in the middle atmosphere in the polar and temperate latitudes during stratospheric warming

Y.Y. Kulikov[1] (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), V.N. Marichev[2], A.V. Poberovskii[3], V.G. Ryskin[1], and V.A. Yushkov[4]

[1]*Institute of Applied Physics RAS, 46 Ulyanovskaya str., 603950 Nizhny Novgorod, Russia*
[2]*Institute of Atmospheric Optics SB RAS, 1 Academician pr., 634055 Tomsk, Russia*
[3]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str, 198504 Saint-Petersburg, Russia*
[4]*Central Aerological Observatory, 3 Pervomayskaya str., 141700 Dolgoprudny, Moscow Reg., Russia*

In this work, we present the results of microwave observations of stratospheric sudden warming during several winters of 2012–2013, 2013–2014 and 2016. The measurement were performed by identical ozonemeters (operating frequency 110836.04 MHz). One of the devices was installed regularly in the Department of Atmospheric Physics of the Physical faculty, Peterhof [1]. Peterhof is located 28 km to west from the city center of Saint-Petersburg. Other apparatus is temporarily housed in the Institute of Atmospheric Optics SB RAS in Tomsk and was used in the joint microwave and optical observations of ozone and temperature of middle atmosphere during winter of 2012–2013 and 2013–2014.

The vertical profiles of ozone in the interval of heights 22–60 km have been estimated from its measured microwave spectra. The profiles were compared with the onboard devices, MLS/AURA and SABER/TIMED [2]. For winter 2016, data of a number of ozonesondes stations, which are located near the Arctic circle – Salekhard (67° N, 67° E), Sodankyla (67° N, 27° E) and Summit (73° N, 38° W) – were used. Among the discussed topics of stratospheric warming, it is possible to allocate a unique warming in winter 2012–2013, which had a considerable influence on the vertical structure of the middle atmosphere in temperate latitudes [3]. In subsequent winters, the warming was not so strong, but those had a completely different impact on the middle atmosphere in temperate and polar latitudes [4]. The development of warming in the polar latitudes and its impact on ozone and temperature at altitudes above 20 km, as a rule, occurred according to the classical scheme from the top down [5]. Experimental confirmation of this scheme can be found in [6, 7]. Feature of polar latitudes is the annual formation of the polar vortex, which leads to a change in the composition and structure of the middle atmosphere. The destruction of the polar vortex differently affects on the atmosphere in temperate and polar latitudes.

Our research is supported by RFBR grant No. 15-05-04249. Ground-based microwave ozone measurements in Peterhof funded by grant RSF No. 14-17-00096.

1. Timofeyev Yu.M., V.S. Kostsov, A.V. Poberovsky, et al. Measurements of the ozone vertical profiles of St.-Petersburg by ground-based microwave instrument // The bulletin of SPbSU. 2008. Release 4. P. 44–53.
2. Russell III J.M., M.G. Mlynczak, L.L. Gordley, et al. Overview of the SABER experiment and preliminary calibration results // Proc. SPIE. 1999. Vol. 3756. P. 277–288.
3. Marichev V.N., G.G. Matvienko, A.A. Lisenko, et al. Microwave and optical observations of ozone and temperature of middle atmosphere during stratospheric warming in Western Siberia // Optics of the atmosphere and ocean. 2014. V. 27, No. 1. P. 46–52.
4. Bochkovsky D.A., Ya.A. Virolainen, Yu.Yu. Kulikov, et al. Ground-Based Microwave Monitoring of Middle-Atmosphere Ozone above Peterhof and Tomsk during Stratospheric Warming in the winter of 2013–2014. Radiophysics and Quantum Electronics. 2016. Vol. 59, No 4, P. 270–277.
5. Schoeberl M.R. Stratospheric warming: Observations and theory // Rev. Geophys. 1978. Vol. 16, No 4. P. 521–538.
6. Krasilnikov A.A., Y.Y. Kulikov, V.G. Ryskin. The behavior of ozone upper atmosphere in winter 1999/2000 on the results of simultaneous microwave observations in Nizhny Novgorod (56°N, 44°E) and Apatity (67°N, 35°E) // Geomagnetism and Aeronomy. 2002. Vol. 42, No. 2. P. 265–273.
7. Manney G.L., Michael J. Schwartz, Kirstin Krüger, et al. Aura Microwave Limb Sounder observations of dynamics and transport during the record-breaking 2009 Arctic stratospheric major warming // Geophys. Res. Lett. 2009. Vol. 36, L12815, doi: 10.1029GL038586.

Анализ процессов, определявших аномально низкое содержание озона, наблюдаемое в Арктике и Субарктике зимой 2015–2016 гг.

Смышляев С.П[1], Тимофеев Ю.М.[2], Кирнер О.[3], Виролайнен Я.А.[2], Поляков А.В.[2], Моцаков М.А.[1]

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

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

[3]*Технологический институт Карлсруэ, вычислительный центр им. Штайнбуха, Эггенштайн-Леопольдсхафен, Германия*

По результатам сравнения результатов наземных и спутниковых измерений и численного моделирования осуществлен анализ значимости фотохимических и динамических атмосферных процессов для формирования наблюдаемых зимой 2015–2016 гг. в полярных и приполярных районах северного полушария отрицательных аномалий общего содержания озона. Результаты измерений с помощью наземных приборов Brewer, Dobson и М-124, а также спутниковых приборов SBUV, OMI и нового Российского прибора ИКФС-2, установленного на спутнике «Метеор-М», показали, что с ноября 2015 г. по март 2016 г. отмечалось значительное сокращение содержания озона (на 100–150 еД меньше среднемноголетних для некоторых районов) в восточной части Арктики и Субарктики. При этом значительное зимнее сокращение озона, временами превышающее 30 % общего содержания, наблюдалось и на Европейской части РФ, в частности в Москве, Санкт-Петербурге и Н. Новгороде.

Численное моделирование изменчивости содержания озона для зимы 2015–2016 гг. осуществлялось с помощью трехмерных моделей нижней и средней атмосферы РГГМУ и EMAC, учитывающих результаты ре-анализа MERRA и ERA-INTERIM. Результаты анализа позволили оценить относительную роль фотохимических и динамических факторов, влияющих на формирование зон пониженного содержания озона в Арктике и прилегающих средних широтах.

Исследование (сравнение и анализ различных экспериментальных и модельных данных о содержании озона) выполнено в рамках проекта 14-17-00096 Российского Научного Фонда. Численная модель изменения состава нижней и средней атмосферы на основе данных ре-анализа разработана в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ. Моделирование процессов в Арктической зоне осуществлялось при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-05-01277).

Analysis of the processes that define extremely low column ozone, observed in the Arctic and Subarctic regions during 2015–2016 winter

S.P. Smyshlyaev[1], Yu.M. Timofeyev[2], O.Kirner[3], Ya.A. Virolainen[2], A.V. Polyakov[2], M.A. Motsakov[1]

[1]*Russian State Hydrometeorological University, 98 Malookhtinskii ave., 195196 Saint-Petersburg, Russia*

[2]*Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia*

[3]*Karlsruhe Institute of Technology P.O. Box 3640 76021 Karlsruhe, Germany*

The analysis of the photochemical and dynamical processes that govern negative column ozone anomalies observed during 2015–2016 winter in the polar and near polar regains, has been performed based on inter-comparison of the ground-based and satellite observations and numerical simulations. Column ozone monitoring with ground-based Brewer and Dobson spectrophotometer, M-124 filter ozonometers, and satellite SBUV, OMI and new Russian IKFS-2 instruments, recorded significant ozone reduction (up to 100–150 DU lower than climatology) in the eastern part of Arctic and Subarctic for the period from November, 2016 till March, 2016. In the meanwhile, substantial winter ozone reduction up to 30 percent of the total column content were registered in the European part of the Russian Federation, in particular, in Moscow, St. Petersburg and Nizhnyi Novgorod.

Numerical simulation of the column ozone winter 2015–2016 evolution have been done with the RSHU and EMAC three dimensional models of the low and middle atmosphere, accounting for the MERRA and ERA-INTERIM re-analysis. Based on the results of numerical experiment runs the relative role of photochemical and dynamical processes for the low ozone zones formation in the Arctic and Subarctic has been estimated.

This research (comparisons and analysis of different experimental and the modeled ozone total column data) was supported by the Russian Science Foundation under Grant number 14-17-00096. The RSHU three-dimensional model has been developed under Russian Federation Ministry of Education and Science program. The modeling of Arctic processes with the RSHU CTM was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 17-05-01277).

Оптимизация краткосрочного прогноза общего содержания озона для территории РФ

Зубов В.А. (zubov@main.mgo.rssi.ru)
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, уд. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Прогнозы величины общего содержания озона (ОСО) с заблаговременность 24 и 48 часов для заданного месяца и географического места РФ выполнены с помощью модели множественной регрессии (ММР) с оптимальным выбором регрессионных уравнений. В качестве предикторов ММР выбраны температуры и геопотенциальные высоты основных изобарических поверхностей, а также значение ОСО в день составления прогноза при прогнозировании на 24 часа. Значения температур и геопотенциальных высот для расчета регрессионных коэффициентов ММР получены из данных объективного анализа Гидрометцентра (ГМЦ) РФ за 8 лет (2001–2008 гг., сайт: http://meteoinfo.ru/grib), а соответствующие значения ОСО из данных спутниковых измерений приборами TOMS и OMI (спутниковые платформы Earth Probe и Aura соответственно, сайт: http://jwocky.gsfc.nasa.gov).

Построенный полный набор регрессионных уравнений (593 700 реализаций) проверялся на соответствующем независимом материале 2009 года (объективный анализ ГМЦ РФ и спутниковые данные TOMS и OMI), и из него отбирались оптимизированные наборы уравнений, дающие минимальную среднюю квадратическую ошибку прогноза. Далее было выполнено тестирование результатов краткосрочных прогнозов ОСО с помощью полученных оптимизированных наборов регрессионных уравнений на основе данных реанализа ERA-Interim (метод идеального прогноза) относительно соответствующих данных измерений и результатов инерционного прогноза за 2010–2016 гг.

Optimization of the short-range total column ozone forecast for Russian Federation

V.A. Zubov (zubov@main.mgo.rssi.ru)
A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory, 7 Karbyshev str., 194021 Saint-Petersburg, Russia

Forecast of the total column ozone (TCO) values at 24 and 48 hour intervals for some month and some geographical points of Russian Federation have been performed by means of the multi-regression models (MRM) with the best choice of the regression equitations. The temperatures and geopotential heights of the main pressure levels were used as the independent variables of MRM. Also TCO for the time of the forecast implementation was utilized as the additional independent variable in case of the 24 hour forecasting. The temperature and geopotential height values of MRM were taken from the objective analysis data of the Hydrometeorological Centre of Russia (HCR) 2001–2008 (http://meteoinfo.ru/grib). The correspondent values of TCO were obtained from satellite measurements (OMI and TOMS instrument on the Earth Probe и Aura platforms respectively, http://jwocky.gsfc.nasa.gov).

The constructed set of the regression equitations (593 700 realizations) has been tested with the independent data set of 2009 (objective analysis of HCR and satellite observations of OMI and TOMS). On the base of testing results the best subset of the MRM equitation was obtained that provided the minimal root mean square errors of the predicted TCO values against the correspondent measurement data. Finally the best set of MRM equitations have been used to perform the short-range ideal TCO forecasts on base of reanalysis data (ERA-Interim) 2010–2016. The forecasting results have been evaluated with the appropriate observation data and results of the inertial predictions of TCO.

Исследование вариаций мезосферного озона с одновременной диагностикой ионосферной плазмы во время нагревного эксперимента на стенде СУРА

Куликов Ю.Ю.[1] (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Андрианов А.Ф.[1], Бахметьева Н.В.[2], Вяхирев В.Д.[2], Калинина Е.Е.[3], Красильников А.А.[1]

[1]*Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия*

[2]*Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ул. Б. Печерская 25/12а, 603950 Нижний Новгород, Россия*

[3]*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, пр. Гагарина 23, 603950 Нижний Новгород, Россия*

Представлены результаты микроволновых наблюдений озона средней атмосферы при возмущении ионосферы мощным КВ радиоизлучением среднеширотного нагревного стенда СУРА (56.1° N, 46.1° E), выполненных 30.09.2016 г. с 08:30 до 18:00 московского времени (LT). Эксперимент был направлен на выяснение физической природы недавно обнаруженного явления – уменьшения интенсивности микроволнового излучения мезосферы в линии озона при искусственном воздействии на нижнюю ионосферу. При эффективной мощности излучения порядка 100 МВт уменьшение интенсивности составило около 10 % [1]. Микроволновые измерения спектров излучения озона средней атмосферы на рабочей частоте 110.8 ГГц проводились при времени накопления 15 минут. Нагрев ионосферы производился излучением в зенит мощной радиоволны X-поляризации на частоте 4.7 МГц с 10:01 до 15:01 LT в режиме 30 минут – нагрев, 30 минут – пауза в работе стенда. Эффективная мощность излучения составила порядка 100 МВт. Впервые в таких экспериментах во время паузы в работе стенда и в контрольные дни 27 и 28.09.2017 г. проводилась диагностика ионосферной плазмы и нейтральной атмосферы на высотах 50–130 км методом резонансного рассеяния радиоволн на искусственных периодических неоднородностях (ИПН) ионосферной плазмы [2].

По характеристикам рассеянного сигнала определяется ряд важнейших параметров ионосферной плазмы и нейтральной атмосферы: электронная концентрация, скорости регулярного и турбулентного вертикальных движений, температура и плотность нейтральной атмосферы. Цифровой ионозонд CADI снимал ионограммы каждые 15 минут. В результате было обнаружено уменьшение во время нагрева интенсивности излучения атмосферы в линии озона в среднем на (9 ± 2) % относительно интенсивности излучения во время паузы в работе стенда. Методом ИПН найдено, что по сравнению с контрольными днями после сеансов нагрева значительно изменялись высотные профили амплитуды и времени релаксации сигнала, рассеянного искусственными неоднородностями. Наблюдался рост амплитуды сигнала в D- и E-областях и снижение высоты образования искусственных неоднородностей до 55 км, хотя обычно они наблюдаются, начиная с 65–70 км. Это означает рост интенсивности неоднородностей электронной концентрации при воздействии на ионосферу. Кроме того, на указанных высотах обнаружены значительные вариации скорости вертикального движения среды, определяемой по измерению фазы рассеянного сигнала. Все это указывает на возмущение нижней ионосферы во время длительного 30-ти минутного нагрева и подтверждает результат о возможном влиянии нагрева ионосферы на поведение

мезосферного озона. В контрольный день наблюдались волновые движения среды с периодами 15–30 минут, характерными для распространения внутренних гравитационных волн. Применение в дальнейших исследованиях для диагностики мезосферы метода ИПН и метода частичных отражений позволит более определенно судить о динамике этой области во время воздействия на ионосферу излучением мощного нагревного стенда.

Эксперименты проводились при поддержке РФФИ (грант № 15-05-04249). Обработка результатов измерений методом ИПН проведена в рамках проекта № 5.8092.2017 Минобрнауки РФ.

1. Куликов Ю.Ю., В.Л. Фролов. Влияние искусственно возмущённой ионосферы на мезосферный озон // Химическая физика. 2013. Т. 32, № 11. С. 26–30.
2. Bakhmetieva N.V., G.I. Grigoriev and A.V. Tolmacheva. Perspective ground-based method for diagnostics of the lower ionosphere and neutral atmosphere // Baltic Astronomy. 2013. Vol. 22, No 1. P.15–24.

Investigation of mesospheric ozone variations with simultaneous diagnostics of ionospheric plasma during the heating experiment at the SURA facility

Y.Y. Kulikov[1] (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), A.F. Andrianov[1], N.V. Bakhmetieva[2], V.D. Vyakhirev[2], E.E. Kalinina[3], A.A. Krasilnikov[1]

[1]*Institute of Applied Physics RAS, 46 Ulyanovskaya str., 603950 N.-Novgorod, Russia*

[2]*Radiophysical Research Institute, N.-Novgorod State University, 25/12a B. Pecherskaya str., 603950 N.-Novgorod, Russia*

[3]*N.-Novgorod State University, 23 Gagarina str., 603950 N.-Novgorod, Russia*

The results of ozone microwave observations in the middle atmosphere in the disturbance of the ionosphere by high-power HF radio emission by the SURA mid-latitude heating facility (56.1°N; 46.1°E) are presented. Observations were carried out on September 30, 2016 from 08:30 to 18:00 Moscow Local Time (LT). The experiment was aimed at clarifying of the physical nature of the recently discovered phenomenon of decreasing the intensity of the microwave radiation of the mesosphere in the ozone line under artificial action on the lower ionosphere. Microwave measurements of the ozone spectra of the middle atmosphere at a working frequency of 110.8 GHz were performed at a storage time of 15 minutes. Ionosphere was pumped by emitting at the zenith a powerful radio wave of the X-polarization at the frequency of 4.7 MHz from 10:01 to 15:01 LT. The pumping was 30 min and 30 min was the pause in the work of the facility. The effective radiation power was about 100 MW. For the first time in such experiments, during a pause in the work of the facility and on the control days September 27 and 28, 2017, the ionospheric plasma and the neutral atmosphere at heights of 50–130 km were diagnosed by resonance scattering of radio waves on artificial periodic irregularities (APIs) of ionospheric plasma.

The characteristics of the scattered signal determine a number of important parameters of the ionospheric plasma and the neutral atmosphere: the electron density, the velocity of regular and turbulent vertical motions, the temperature and the density of the neutral atmosphere. The digital ionosonde CADI recorded ionograms every 15 min. As a result, the decrease of the intensity of atmospheric radiation in the ozone line was found by an average of (9 ± 2) % relative to the radiation intensity during the pause in the pumping. Using the API technique we found that, in comparison with the control days after the pumping sessions, the height profiles of the amplitude and the time decay of the signal scattered by artificial irregularities were significantly changed. There was an increase of the signal amplitude in the D and E regions and a decrease of the height of the formation of artificial irregularities to 55 km, although they are usually observed starting from 65–70 km. This means an increase of the intensity of the irregularities of the electron density upon the action on the ionosphere. In addition, significant variations of the velocity of the vertical motion of the medium, determined from the measurement of the phase of the scattered signal, were detected at these heights. All this indicates a perturbation of the lower ionosphere during a continuous pumping on 30 min and confirms the result of the possible heating effect of the ionosphere on the behavior of mesospheric ozone. In the control day, wave motions of the medium with periods of 15–30 min, typical for the propagation of internal gravitational waves, were

observed. The application of the API technique and the method of partial reflections in future investigations for mesospheric diagnostics will allow us to more definitely appreciate the dynamics of this region during the impact on the ionosphere of radiation from a powerful heating facility.

The experiments were supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 15-05-04249). The processing of the results of measurements by the API technique was carried out within the framework of the project No. 5.8092.2017 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

1. Kulikov Yu.Yu., V.L. Frolov. Influence of an artificially disturbed ionosphere on the mesospheric ozone // Rus. J. Phys. Chem. B. 2013. Vol. 7, No 6. P. 692–695.
2. Bakhmetieva N.V., G.I. Grigoriev and A.V. Tolmacheva. Perspective ground-based method for diagnostics of the lower ionosphere and neutral atmosphere // Baltic Astronomy. 2013. Vol. 22, No 1. P.15–24.

Особенности численного моделирования F-слоя ионосферы в рамках совместной модели ионосферы и термосферы Земли

Кулямин Д.В. (kulyamind@mail.ru), Останин П.А., Дымников В.П.
Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 119333 Москва, Россия

Предлагаемый доклад в целом посвящен представлению проводимой в ИВМ РАН работе по решению фундаментальной проблемы описания механизмов формирования, изменчивости и прогноза глобального состояния взаимодействующей системы ионосфера–термосфера (область атмосферы на высотах 90–500 км). Особенностями решения данной задачи является применение новой для данной тематики методологии, разрабатываемой в настоящее время для решения задач прогноза погоды и изменений климата, в том числе в ИВМ РАН. В целом, работа в данном направлении предполагает согласованное решение трех основных подзадач, связанных с разработкой и развитием глобальных численных моделей ионосферы и термосферы высокого уровня, разработкой системы усвоения данных наблюдений для этих моделей, а также применением методологии динамико-стохастического моделирования для учета плохо определенных факторов, влияющих на среднее состояние и изменчивость среды. Поскольку состояние системы термосфера–ионосфера в целом имеет значительное прикладное значение, т.к. оно, по существу, определяет как характеристики движения космических аппаратов, так и условия для распространения радиосигналов, а также навигационных систем глобального позиционирования, актуальность рассматриваемой задачи, и особенно прогностических возможностей предлагаемой методологии, на сегодняшний день достаточно высока.

Основное внимание в докладе уделено воспроизведению глобального состояния Земной ионосферы на основе численного моделирования характеристик F-слоя с особым вниманием к разработке эффективных численных методов и алгоритмов их реализации. Одной из ключевых особенностей данной работы является согласование методологии разработки моделирования ионосферы с уже созданными в ИВМ РАН моделями нейтральной термосферы и нижних слоев атмосферы. Подробно рассматривается первые результаты по построению динамической трёхмерной модели Земной ионосферы (100–500 км) с детальным анализом решаемых уравнений, согласованных с моделью термосферы ИВМ РАН. При разработке первой версии модели ионосферы используются традиционные приближения (рассмотрение только F слоя, динамическое преобладание амбиполярной диффузии, одноионная постановка, дипольное магнитное поле Земли, приближение совпадения географических и магнитных полюсов и др.).

В модели решается совместное уравнение неразрывности для концентрации электронов и положительных ионов атомарного кислорода с учётом фотохимических процессов (ионизации и рекомбинации) и амбиполярной диффузии вдоль силовых линий Земного магнитного поля. На первом этапе работы рассматривается одномерная постановка с расчетом вертикальных распределений концентрации в приближении амбиполярной диффузии вдоль вертикального направления без учета электромагнитного дрейфа и

эффектов нейтрального ветра. На втором этапе рассматривается квазитрехмерная постановка задачи в сферических географических координатах (с учетом долготы только при вычислении локального времени) в приближении диффузии вдоль магнитных линий, при этом конечные уравнения формулируются с помощью проекций соответствующего оператора на вертикальное и меридиональное направления. На третьем этапе работы рассматривается эффект поперечного дрейфа и переноса нейтральным ветром, который реализован отдельно на основе метода расщепления с помощью полулагранжева подхода.

Для решения одномерной задачи на первом этапе работы построена и численно реализована неявная схема второго порядка по пространству, обладающая законом сохранения массы и сохраняющая монотонность решения. На втором этапе реализован аналогичный алгоритм для двумерной постановки. Для рассматриваемой одномерной и двумерной постановок с различными численными схемами решения проведен ряд численных экспериментов и показана правильность численной реализации схем, проведено сравнение различных постановок данной задачи. Отдельно исследована чувствительность профилей электронной концентрации к внешним параметрам модели: скорости ионизации и рекомбинации, электронной, ионной и нейтральной температурам, а также концентрациям нейтральных молекул. Показано, что наиболее существенными физическими параметрами для данной модели ионосферы являются скорость ионизации, а также нейтральная температура.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-17-01305).

On specific features of numerical modelling of the ionosphere F region within the coupled Earth ionosphere and thermosphere dynamical model

D.V. Kulyamin (kulyamind@mail.ru), P.A. Ostanin, V.P. Dymnikov
Institute of Numerical Mathematics RAS, 8 Gubkin str., 119333 Moscow, Russia

The presentation is generally devoted to INM RAS current efforts to address the fundamental problem of describing and predicting the mean global state and variability, as well as its formation physical mechanism, for the interacting ionosphere–thermosphere system (region of the atmosphere at altitudes of 90–500 km). The peculiar property of the proposed approach is using new for that field methodology, currently being actively developed for weather and climate changes forecasting (including research activity in INM RAS). As a whole our activity involves a consistent work on the three main sub-tasks associated with the construction and development of global numerical ionosphere–thermosphere dynamical models of high scientific level, the development of data assimilation systems for these models, and the application of the methodology of the dynamical-stochastic modeling to account for ill-defined factors affecting the mean state and variability of the environment. Since the state of thermosphere–ionosphere system has clear importance for practical application as it generally determines the characteristics of the low-orbit satellites motion, and the conditions for radio propagation (which ensures stable operation of distant communications and global navigation systems), so the problem under consideration is highly relevant, especially the predictive capabilities of the proposed methodology.

Main focus of presented work is the problem of describing the global state of the terrestrial ionosphere by the means of numerical modelling with particular attention to the development of effective numerical methods and algorithms for their implementation. One of the key feature of this work is consistent development of the ionosphere model with the existing and developed in INM RAS models of the neutral thermosphere and lower layers of the atmosphere. The first results of a new dynamical three-dimensional Earth's ionosphere (100–500 km) model are considered in detail with detailed analysis of the solved equations. The traditional assumptions are taken during the development (considering only the F-layer, the ambipolar diffusion approximation, single-ion approximation, etc.).

The presented mode is based on numerical solution of continuity equation for the electron concentration and atomic oxygen ion which takes into account the photochemical processes

(ionization and recombination) and ambipolar diffusion along the Earth's magnetic field lines. First stage of work is devoted to one-dimensional model development with calculation of concentration vertical distributions with the ambipolar diffusion along the vertical direction (without taking into account the electromagnetic drift and the effects of neutral wind). On the second stage we consider the quasi-three-dimensional formulation in spherical geographic coordinates (taking into account the longitude only in calculating the local time) in the diffusion approximation along the magnetic lines, while the final equations are formulated using the projections of the corresponding operator on the vertical and meridional directions. On the third stage the effect of transverse drift and transport by a neutral wind is considered, which is implemented separately on the basis of the splitting method using the semi-Lagrangian approach.

To solve a one-dimensional problem in the first stage we constructed and numerically realized the 2-nd order implicit monotonic scheme which has the law of conservation of mass. At the second stage, a similar algorithm is implemented for a two-dimensional formulation. For considered 1D and 2D model formulations with various numerical schemes the accuracy of the numerical implementation was experimentally shown, and these different formulations were studied in comparison. The sensitivity of the vertical distributions to external model parameters (ionization and recombination rates, electronic, ionic and neutral temperatures, concentrations of neutral species) were studied. It has been shown that the most important physical parameters for this model are the ionization rate and the neutral temperature.

The presented work is supported by Russian Science Foundation (project №17-17-01305)

Enhanced variability of the ionosphere–thermosphere–mesosphere during stratospheric warming events: observations and model results

Valery A. Yudin[1] (vayu6999@colorado.edu), Larisa P. Goncharenko[2], Lynn V. Harvey[2]
[1]*University of Colorado, Boulder, CIRES, 325 Broadway Boulder, Colorado , CO 80305, USA*
[2]*Haystack Observatory, Massachusetts Institute of Technology, 99 Millstone Rd, Westford, MA 01886, USA*
3University of Colorado, LASP, 3665 Discovery Drive Boulder, CO 80303, USA

The paper presents analysis and interpretation of observed perturbations of the ionosphere–thermosphere–mesosphere (ITM) state during the recent Arctic sudden stratospheric warming (SSW) events under solar minimum (2009), transition to solar maximum (2012) and solar maximum (2013) conditions. Employing the 116-level configuration of the thermosphere extension of Whole Atmosphere Community Climate Model (WACCMX-116L), constrained by the meteorological troposphere–stratosphere analyses of Goddard Earth Observing System, version 5 (GEOS-5) of Global Modeling and Data Assimilation Office (GMAO), we study and characterize the striking amplifications of the solar thermal semidiurnal tide, as one of the major drivers of the ITM variability, after onsets of major and minor SSW events. The dominance and growth of the semidiurnal tide over the diurnal and terdiurnal modes are typical features of the tidal dynamics in the middle atmosphere during SSW. The SSW-driven global perturbations of tides can dramatically change diurnal cycles of the plasma in the low-latitude and extra-tropical ionosphere during SSW. The one-way coupled simulations of TIME-GCM (Thermosphere Ionosphere Mesosphere Electrodynamics General Circulation Model) performed with neutral dynamics of WACCMX-116L/GEOS-5 support main features of the observed anomalies of total electron content and vertical plasma drifts initiated by prevailing influence of the semidiurnal thermal tide. As shown, the self-consistent whole atmosphere predictions of main components of neutral dynamics, zonal winds, planetary waves and tides become important factor to reproduce and forecast the perturbed state of the ITM as observed during SSW events.

Model studies of the molecular ions dynamics in the ionospheric E-region under geomagnetically disturbed conditions

F.S. Bessarab (office@wdizmiran.ru), M.G. Golubkov, I.V. Karpov, G.V. Golubkov, G.K. Ozerov

West Department of Pushkov IZMIRAN RAS, 41 Pobeda ave., 236017 Kaliningrad, Russia

In recent years, the problem of breaking the positioning of satellite navigation systems during geomagnetic events are actively discussed. An analysis of experimental studies shows that a significant contribution to positioning errors during these periods is formed on sections of radio paths passing through the lower ionosphere. The reason for these phenomena may be due to the formation of significant concentrations of highly excited atoms and ions (Rydberg particles) in the E and D regions of the ionosphere. Such particles, possessing unusual microscopic properties, will eventually influence the refractive index of the signal propagation environment, as well as the macroscopic properties of the medium, in particular, the rate constants of chemical reactions.

The paper presents the results of model studies of the behavior of the ionospheric E-region during the geomagnetic storm on March 17, 2015. Numerical simulations were performed using the Global Selfconsistent Model of the Thermosphere, Ionosphere, and Protonoshpere (GSM TIP). New rate constants for the dissociative recombination of NO+ ions, calculated taking into account the intermediate states of the Rydberg complex NO**, were used in simulations. The results of calculations and the role of Rydberg particles in the dynamics of the ionosphere E-region are discussed.

This work was supported by RFBR Grant No. 16-05-0052A.

Температурный и динамический режим среднеширотной мезопаузы в периоды внезапных стратосферных потеплений по наблюдениям гидроксильного излучения

Медведева И.В.[1] (ivmed@iszf.irk.ru), Семенов А.И.[2] (anasemenov@yandex.ru)

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

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

Одним из наиболее значительных метеорологических возмущений, влияющих на температурный и динамический режим нижней и средней атмосферы в зимнее время, являются внезапные стратосферные потепления (ВСП). Значительные стратосферные потепления оказывают существенное влияние и на состояние верхней атмосферы. Стратосферное потепление классифицируется как “major”, если на 10 гПа (~ 32 км) и 60°N изменяется направление среднезонального ветра с западного на восточное, и градиент среднезональной температуры между 60°N и полюсом становится положительным. Если происходит резкий рост температуры стратосферы над любой широтой зимнего полушария, но направление зональной циркуляции не меняется, такое событие классифицируется как ВСП типа “minor”. Финальное стратосферное потепление может развиться в конце зимы, в результате зимний циркумполярный вихрь разрушается и уже больше не восстанавливается, т.е. имеет место ранняя перестройка циркуляции.

В работе представлены результаты исследования возмущений состава и температуры атмосферы на высотах мезопаузы в периоды внезапных стратосферных потеплений в 2010–2017 гг. Для анализа было выбрано несколько событий, относящихся к разным типам стратосферных потеплений (major, minor, final). Для идентификации событий стратосферных потеплений использованы данные реанализа MERRA и спутниковые данные измерений вертикальных профилей температуры MLS Aura. Анализируются данные измерений интенсивности эмиссии и вращательной температуры молекулы гидроксила, полученные при помощи спектрометрических измерений параметров эмиссии OH (полоса (6-2), 834.0 нм), проводящихся в Геофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН

(51.8°N, 103.1°E, Торы), и Звенигородской станции Института физики атмосферы РАН (55.7°N, 36.8°E).

Излучающий слой гидроксила имеет максимальную объемную интенсивность на высоте ~ 87 км и толщину ~ 9 км. Вращательная температура молекулы OH определяется с точностью 1–2 K и соответствует температуре атмосферы на высоте излучения. Интенсивность эмиссии дает информацию о динамике фотохимических процессов и рекомбинации атомарного кислорода на высотах излучающего слоя. Данные о температуре и интенсивности эмиссии OH(6-2) были использованы для расчета вариаций концентрации атомарного кислорода в области мезопаузы в периоды анализируемых стратосферных потеплений. В расчетах использована фотохимическая модель излучения молекулы OH и модель нейтральной атмосферы NRLMSISE-00. Обнаружено, что значительные события ВСП могут вызвать увеличение интенсивности эмиссии OH(6-2) и концентрации атомарного кислорода в области мезопаузы более чем в 2.5 раза. Выявленные эффекты могут быть вызваны усилением вертикального переноса в периоды ВСП.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05-00192-а и гранта № НШ-6894.2016.5 Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ РФ. Для анализа были использованы экспериментальные данные, полученные при помощи инфракрасного спектрометра, входящего в оптический комплекс ЦКП «Ангара».

Temperature and dynamic regime of mid-latitude mesopause during sudden stratospheric warmings from OH airglow observations

I.V. Medvedeva[1] (ivmed@iszf.irk.ru), A.I. Semenov[2] (anasemenov@yandex.ru)
[1]*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 126a Lermontov st., 664033 Irkutsk, Russia*
[2]*Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzheskiy per., 119017 Moscow, Russia*

Sudden stratospheric warming (SSW) is one of the most significant meteorological disturbances affecting the temperature and dynamic regime of the winter lower and middle atmosphere. Significant stratospheric warmings also have a considerable effect on the state of the upper atmosphere. Stratospheric warming is classified as "major" if the direction of the averaged zonal wind at 60°N and 10 hPa changes from west to east, and the gradient of the mean zonal temperature between 60°N and the pole becomes positive. If there is a sharp increase in the stratosphere temperature over any latitude of the winter hemisphere, without zonal wind reversal, this SSW is classified as "minor". Final stratospheric warming can develop at the end of winter, as a result of which the winter circumpolar vortex is broken down without recovering, i.e. early spring transition of atmospheric circulation happens.

We present the results of studying disturbances in the composition and temperature of the atmosphere at the mesopause region during periods of sudden stratospheric warmings in 2010–2017. Several SSW events related to different types of stratospheric warming (major, minor, final) were selected for the analysis. To identify the SSW events, we used the satellite data on the vertical temperature distribution in the atmosphere from Aura MLS v3.3, and the MERRA reanalysis data. We analyzed the data on the OH emission intensity and rotational temperature derived from spectrometric measurements of the hydroxyl emission (834.0 nm, band (6–2)) at the Geophysical Observatory of the Institute of Solar-Terrestrial Physics (51.8°N, 103.1°E) and at the Zvenigorod station of the Obukhov Institute of Atmospheric Physics (55.7°N, 36.8°E).

Hydroxyl emission layer has a maximal volume intensity at an altitude of about 87 km and a 9-km thickness. OH rotational temperature is determined with 1–2 K accuracy and corresponds to the atmosphere temperature at the radiation height (mesopause region). The emission intensity provides information on the dynamics of photochemical processes and recombination of atomic oxygen at the emission layer heights. The data on OH(6-2) rotational temperature and intensity were used to calculate variations in the atomic oxygen density in the MLT during the analyzed stratospheric warmings. In the calculations, we used the photochemical model of OH emission and the NRLMSISE-00 atmospheric model. It is shown, that significant SSW events can cause an

increase in the intensity of OH emission (6-2) and in the atomic oxygen density at the height of the OH layer by more than 2.5 times. The revealed effect can be caused by the SSW-related increase in vertical transfer of the atmospheric components.

This study was done with a support from the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 17-05-00192-a, and RF President Grant of Public Support for RF Leading Scientific Schools (NSh-6894.2016.5).

Меридиональная сеть оптических станций, измеряющих температуру мезопаузы на Востоке Сибири

Аммосов П.П. (ammosov@ikfia.ysn.ru), Гаврильева Г.А., Аммосова А.М, Колтовской И.И., Сивцева В.И.

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

Меридиональная сеть оптических станций создается в рамках Международной программы исследований изменений мезопаузы NDMC (Network for the Detection of Mesopause Change, since 2007, continues). Меридиональная сеть будет состоять из среднеширотной станции в Нерюнгри (56.39° N, 124.43° E), высокоширотных станций Maimaga (63.04° N, 129.51° E) и Тикси (71.58° N, 128.77° E). Каждая станция будет оснащена новым инфракрасным спектрографом (производства Андор), ведущим запись температуры за каждые 1 мин по полосе OH(3,1) молекулы гидроксила, и камерой всего неба, которая будет регистрировать распространение внутренних гравитационных волн по эмиссиям ночного неба. В настоящее время спектрографы установлены в Тикси и Маймаге. Две камеры всего неба работают в Маймаге. Все приборы работают в автономном режиме. В этом году спектрограф будет установлен в Нерюнгри. Сеть будет полностью завершена в течении 2-х лет.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 17-05-00855 А, 15-05-05320 А, № 16-35-00121 мол_а, № 16-35-00204 мол_а, 15-45-05066 р_восток_а.

Meridional network of optical stations measuring the temperature of the mesopause in the North of Siberia

P.P. Ammosov (ammosov@ikfia.ysn.ru), G.A. Gavrilyeva, A.M. Ammosova, I.I. Koltovskoi, V.I. Sivtseva

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin ave., 677980 Yakutsk, Russia

Meridional network of stations are created within the framework of an international research program of mesopause changes NDMC (Network for the Detection of Mesopause Change, since 2007, continues). Meridional network will consist of a mid-latitude station in Neryungri (56.39° N, 124.43° E), high-latitude stations Maimaga (63.04° N, 129.51° E) and Tiksi (71.58° N, 128.77° E). Each station will be equipped with the new infrared spectrograph (Andor) recording temperature on OH (3.1) band of hydroxyl molecule for 1 min and with all-sky camera which registers the movement of internal gravity waves by night airglow emissions. At the present time spectrographs are installed in Tiksi and Maimaga. Two all-sky cameras work in Maimaga. All devices run offline. In this year, the spectrograph will be installed in Neryungri. The network will be fully completed within 2 years.

The study was supported by Russian Foundation for Basic Research under Grants №17-05-00855 А, № 16-35-00121 мол_а, № 16-35-00204 мол_а, № 15-05-05320 А, 15-45-05066 р_восток_а.

Сопоставление температуры высокоширотной мезопаузы измеренной наземным прибором и со спутника

Колтовской И.И., Аммосов П.П. (ammosov@ikfia.ysn.ru), Гаврильева Г.А., Аммосова А.М.

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

В работе представлено сопоставление кинетической температуры на высоте эмиссионного слоя OH (~ 87 км), измеренной радиометром SABER с борта спутника TIMED, и вращательной температуры инфракрасной полосы OH (6–2), измеренной наземным спектрографом, установленным на оптической станции Маймага (63° N, 129.5° E). Для сравнения были использованы измерения SABER полученные с 2002 по 2013 годы в области координат (55° N–70° N) x (115° E–135° E). Угол обзора наземного спектрографа почти совпадает с центром выбранной области.

Анализ 4612 профилей, полученных за 12 лет, показывает, что сезонная вариация температур примерно одинаковая. Температура, измеренная на высоте слоя OH со спутника на 4.5 K выше, чем температура, измеренная наземным спектрографом. Обнаружено, что разница температур между измеренными со спутника и наземного инструмента имеет межгодовую изменчивость. В 2002–2003 гг. разница температур не достигает 5 K. В 2009–2010 гг. разница температур достигает 20 K. В 2013 году разница температур, измеренных двумя приборами, почти сравнима.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 17-05-00855 А, № 16-35-00121 мол_а, № 16-35-00204 мол_а, № 15-05-05320 А, 15-45-05066 р_восток_а.

Comparison of temperature of the high-latitude mesopause measured by ground-based and satellite instruments

I.I. Koltovskoi, P.P. Ammosov (ammosov@ikfia.ysn.ru), G.A. Gavrilyeva, A.M. Ammosova

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin av., 677980 Yakutsk, Russia

The work presents a comparison of the kinetic temperature of the OH emissive layer (~ 87 km) measured with a SABER radiometer on the TIMED satellite, and rotational temperatures of the infrared OH(6–2) band measured with a ground spectrograph installed at the optical station Maimaga (63° N, 129.5° E). For comparison SABER measurements obtained in 2002–2013 were selected within the area (55° N–70° N) x (115° E–135° E). The angle of view of the ground-based spectrograph is nearly in the center of the selected area.

Analysis of the 4612 profiles obtained for 12 years has shown that the seasonal temperature variations have approximately the same type. The temperature of the OH layer measured by satellite is 4.5 K more than temperature measured by ground-based spectrograph. It has been found that the difference between the measurements from the satellite and the ground-based instrument has inter-annual variability. In 2002–2003, the temperature difference in the emissive layer does not exceed 5 K. In 2009–2010, the temperature difference reaches 20 K. In 2013, the temperature of OH layer measured by two devices is almost the same.

The study was supported by Russian Foundation for Basic Research under Grants №17-05-00855 A, № 16-35-00121 мол_а, № 16-35-00204 мол_а, № 15-05-05320 A, 15-45-05066 р_восток_а.

Влияние геомагнитной активности на температуру высокоширотной мезопаузы

Аммосов П.П. (ammosov@ikfia.ysn.ru), Гаврильева Г.А., Аммосова А.М., Колтовской И.И.
Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31, 677980 Якутск, Россия

Регулярные наблюдения за излучением гидроксила OH(6,2) были проведены на станции Maimaga (63° с.ш., 129.5° в.д.) с 1999 года. Измерения проводились с помощью инфракрасного спектрографа. Всего для обработки были отобраны 2864 средненочных вращательных температур. Геомагнитная активность оценивалась индексом A_p. Корреляционный анализ показал связь между вращательной температуры OH(6,2) с геомагнитной активностью. Коэффициент корреляции $R = 0.51 \pm 0.1$ при 95 % уровне доверия.

Для выявления воздействия геомагнитной активности, данные были разделены на годы с высокой геомагнитной активностью ($A_p > 8$) и низкой геомагнитной активностью ($A_p <= 8$). В зимние месяцы температура на высоте возбуждения OH в геомагнитно активные годы примерно на 10 К выше, чем в годы с низким A_p. Среднемесячные температуры в августе–сентябре и в марте–мае отличаются незначительно. Возможным механизмом является высыпание энергичных частиц в атмосферу в геомагнитно активные годы. Многочисленные модели показывают, что в геомагнитно активные периоды проникновение энергичных частиц значительно увеличивает количество NOx и HOx в полярной зимней мезосфере, в результате химических реакций уменьшается концентрация озона в мезосфере и стратосфере. Эти изменения сопровождаются интенсификацией циркумполярного вихря, в последствии наблюдается рост температуры в мезосфере и охлаждение в стратосфере.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 17-05-00855 А, № 16-35-00121 мол_а, № 16-35-00204 мол_а, № 15-05-05320 А, 15-45-05066 р_восток_а.

The influence of geomagnetic activity on the temperature of the high-latitude mesopause

P.P. Ammosov (ammosov@ikfia.ysn.ru), G.A. Gavrilyeva, A.M. Ammosova, I.I. Koltovskoi
Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, 31 Lenin ave., 677980 Yakutsk, Russia

Regular observations of the hydroxyl emission band (6,2) were carried out at the Maimaga station (63° N, 129.5° E) since 1999. Measurements were conducted with an infrared spectrograph. In this study, the rotational temperature data set comprises 2864 nightly averages, which pass selection criteria. A_p index was used for the analysis. The correlation analyses showed connection between OH(6,2) rotational temperature with the geomagnetic activity. The correlation coefficient $R = 0.51 \pm 0.1$ with 95% confidence interval level.

For study of the geomagnetic forcing, we divide the data into high geomagnetic activity($A_p > 8$) and low geomagnetic activity ($A_p <= 8$) years. The winter temperature of atmosphere at the OH excitation heights is approximately 10 K higher in active years, than in years with low A_p. Monthly averaged temperatures in August–September and in March–May have not significant differences. A possible mechanism is precipitation of energetic particles into the atmosphere during geomagnetic active years. Numerous models show, that during geomagnetic active periods, the particle precipitations significantly increase the amount of NOx and HOx in the polar winter mesosphere, resulting in local ozone decreases of up to stratosphere. These changes are followed by an intensification of the polar night jet, as well as mesospheric warming and stratospheric cooling.

The study was supported by Russian Foundation for Basic Research under Grants №17-05-00855 А, № 16-35-00121 мол_а, № 16-35-00204 мол_а, № 15-05-05320 А, 15-45-05066 р_восток_а.

Воздействие высыпающихся из радиационных поясов средне энергетических электронов (> 30 кэВ) на атмосферу Земли

Миронова И.А. (i.a.mironova@spbu.ru)
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Воздействие протонов на химический состав полярной атмосферы детально исследовалось во многих работах. Однако роль высыпающихся из радиационных поясов электронов в вариациях озона и климатических изменениях до сих пор не ясна по причине того, что реальные скорости ионизации атмосферы под воздействием этих частиц неизвестны. Один из поднимаемых дискуссионных вопросов также связан с диапазоном энергий электронов, которые могут быть наиболее или наименее важными для вариаций атмосферных химических изменений.

В данной работе обсуждаются скорости ионизации атмосферы, вызванные электронами различных энергий, с учетом изотропного и углового распределения выпавших частиц. Здесь также рассмотрены различные спектры потоков электронов, которые обычно берутся во внимание для данных, полученных во время баллонных измерений релятивистских электронов, наблюдений со спутников, и спектры, восстановленные с использованием геомагнитных индексов. Скорости ионизации от данных энергетических спектров охватывают широкий диапазон характеристических энергий высыпающихся электронов. Ионизация, создаваемая тормозным излучением, также принимается во внимание.

Impact of the medium energy electrons (> 30 keV) precipitated from radiation belts on the Earth's atmosphere

I.A. Mironova (i.a.mironova@spbu.ru)
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

The effect of protons on the chemical composition of the polar atmosphere was investigated in detail in various papers. However the role of the electrons precipitating from radiation belts in ozone variations and climate changes is still not clear due to absent of knowledge about real ionization rates of the atmosphere. One of issues of the present work is related to the range of electron energies that may be most or least important for variability in the atmospheric chemical changes.

In this paper the ionization rates of the atmosphere induced by electrons of different energies, taking into account the isotropic and angular distribution of the precipitated particles are dicussed. Various electron flux spectra of data obtained during balloon measurements of relativistic electrons, observations from satellites, and spectra reconstructed using geomagnetic indices are considered. The ionization rates from these energy spectra cover a wide range of characteristic energies of the precipitating electrons. Ionization created by bremsstrahlung is also taken into account.

Моделирование прямых и обратных эффектов между грозовой активностью, температурой и составом атмосферы в региональном масштабе

Коломеец Л.И. (liudusik88@mail.ru), Смышляев С.П.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. д. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Окислы азота оказывают значительное влияние на содержание озона, гидроксильных радикалов и других радиационных газов. С экологической точки зрения нежелательно их увеличение ни в тропосфере, ни в стратосфере. Важным не поверхностным источником окислов азота являются грозовые разряды, поэтому учет дополнительного источника

окислов азота молниевого происхождения в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов является важной задачей с точки зрения более детального описания протекания подсеточных физических процессов. Для изучения особенностей обратных связей между грозовой активностью, содержанием атмосферных газов и полями температуры, используется численная региональная модель The Weather Research and Forecasting model (WRF-Chem), версия 3.6. Для расчета молниевой продукции окислов азота в каждом узле модельной сетки используется параметризация Price и Rind (PR92, PR94) для нейтральной стратификации. Основной задачей данной параметризации является прогноз временного и пространственного распределения отдельных грозовых вспышек без использования дополнительной сложной электрической схемы. Вертикальное распределение количества молниевых вспышек соответствует Гауссовому распределению в диапазоне температур от – 15 до – 45 (С). Для проверки гипотезы о значимости обратных связей между молниевой активностью, газовым составом и температурой атмосферы был выбран регион побережья Черного моря. В настоящей работе используется химическая схема RADM2, которая включает в себя неорганические и органические соединения. Неорганические соединения представлены 14 устойчивыми видами, 4 реакционноспособными промежуточными соединениями и 3 устойчивыми соединениями (кислород, азот и водяной пар). Атмосферные органические соединения представлены 26 устойчивыми видами и 16 пероксильными радикалами.

В настоящей работе разработана методика исследования эффектов молниевой активности на состав и структуру тропосферы и нижней стратосферы в региональном масштабе. В результате: а) выявлены прямые и обратные связи между атмосферным электричеством, структурой и составом атмосферного воздуха в тропосфере/нижней стратосфере; б) получены качественные оценки влияния молниевых вспышек на изменение полей температуры в тропосфере/нижней стратосфере в региональном масштабе; в) рассчитаны изменения значений индексов конвективной неустойчивости атмосферы при учете дополнительных источников окислов азота молниевого происхождения.

На основании численных экспериментов с моделью численного прогноза погоды/качества воздуха показана важность правильного учета пространственного распределения продуктов грозовых разрядов, поскольку от этого существенно зависит эффект, оказываемый атмосферным электричеством на прогноз конвективного состояния атмосферы. Удаленные от поверхности источники молниевого происхождения окислов азота вносят существенный вклад в результаты моделирования не только основных параметров атмосферы, таких как температура, газовый состав, но и в значительной степени влияют на прогноз энергии неустойчивости атмосферы. Это говорит о том, что учет прямых и обратных связей в атмосфере влияет на прогноз опасных конвективных локальных явлений, основанный на расчете индексов конвективной неустойчивости атмосферы.

Direct and indirect effects between thunderstorm activity, temperature and atmosphere composition on a regional scale: sensitive tests with WRF-CHEM

L.I. Kolomeets (liudusik88@mail.ru), S.P. Smyshlyaev

Russian State Hydrometeorological University, 98 Maloohtinsky ave., 195196 Saint-Petersburg, Russia

Nitrogen oxides impact strongly on the content of ozone, hydroxyl radicals and other radiation gases. From the ecological point of view, their increase in the troposphere or in the stratosphere is not desirable. An important non-surface sources of nitrogen oxides are thunderstorm discharges, so taking into account an additional source of lightning origin nitrogen oxides in hydrodynamic modeling of atmospheric processes is an important task for more detailed description of subgrid physical processes. A numerical regional model, The Weather Research and Forecasting model (WRF-Chem), version 3.6, is used to study the features of feedbacks between thunderstorm activity, atmospheric gas content and temperature fields. To calculate the lightning production of

nitrogen oxides, Parametrization Price and Rind (PR92, PR94) for neutral stratification is used in each node of the model grid. The main task of this parametrization is to forecast the temporal and spatial distribution of individual thunderstorms without using an additional complex electrical circuit. The vertical distribution of the number of lightning flashes corresponds to a Gaussian distribution in the temperature range from – 15 to – 45 (C). To test the hypothesis of the importance of feedbacks between lightning activity, gas composition and atmospheric temperature, the Black Sea coast region was chosen. In this paper we use the chemical scheme RADM2, which includes inorganic and organic compounds. Inorganic compounds are represented by 14 resistant species, 4 reactive intermediates and 3 stable compounds (oxygen, nitrogen and water vapor). Atmospheric organic compounds are represented by 26 resistant species and 16 peroxy radicals.

A new method has been developed to investigate the effects of lightning activity on the composition and structure of the troposphere and the lower stratosphere at the regional scale. As a result: a)direct and indirect relations between atmospheric electricity, the structure and composition of atmospheric air in the troposphere/lower stratosphere are revealed; b) qualitative estimates of the effect of lightning flares on the temperature fields in the troposphere/lower stratosphere at the regional scale are obtained; c) changes in the values of indices of convective instability of the atmosphere are calculated with additional sources of nitrogen oxides of lightning origin taken into account.

Based on numerical experiments with the numerical weather prediction/air quality model, the importance of correctly taking into account the spatial distribution of lightning discharge products is shown, since the effect of atmospheric electricity on the forecast of the convective atmosphere state depends significantly on this. The sources of lightning origin of nitrogen oxides removed from the surface make a significant contribution to the results of modeling not only the main parameters of the atmosphere, such as temperature, gas composition, but also significantly influence the forecast of the energy of the instability of the atmosphere. This suggests that the inclusion of direct and inverse relations in the atmosphere affects the forecast of dangerous convective local phenomena, based on the calculation of the indices of convective instability of the atmosphere.

Распределение окисей серы на ночной стороне верхней мезосферы Венеры

Беляев Д.А.[1] (bdenya.iki@gmail.com), Евдокимова Д.Г.[1], Montmessin F.[2], Bertaux J.-L.[2], Федорова А.А.[1], Лугинин М.С.[1]

[1]*Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия*

[2]*LATMOS/CNRS, Quartier des Garennes, 11 bd. d'Alembert, 78280 Guyancourt, France*

Цикл серосодержащих частиц на Венере обусловлен химическими реакциями с двуокисью серы (SO_2), чьи фотолиз и окисление оказывают воздействие на формирование плотных облаков у планеты. Они состоят из капель концентрированной серной кислоты (раствор 75–80 %), которые полностью покрывают Венеру на высотах от 50 до 70 км. Недавние наблюдения с орбитального аппарата «Венера-Экспресс» и наземных телескопов показали высокую изменчивость содержания SO_2 в течение нескольких лет, а также суточные и широтные вариации на дневной стороне и в зоне сумерек (в пределах от 20 до 500 ppb (одна часть на миллиард) над облаками). На ночной стороне Венеры SO_2 не подвержен фотодиссоциации, но до сих пор его поведение не было детально изучено.

В данной работе мы представляем первое распределение содержания окисей серы на ночной стороне верхней мезосферы Венеры (высоты от 85 до 105 км). Данные накоплены из затменных экспериментов (солнечное и звездное просвечивания) прибором СПИКАВ на борту европейского орбитального аппарата «Венера-Экспресс» в период с 2006 по 2014 годы. УФ канал спектрометра СПИКАВ чувствителен к поглощению полос SO, SO_2 и CO_2 в спектральном диапазоне 150–300 нм с разрешением 1–2 нм при просвечивании звездой мезосферы планеты. Были восстановлены высотные профили относительного содержания

SO_2 по всей ночной стороне Венеры (от вечерних до утренних сумерек). В среднем, относительное содержание двуокиси серы растет с высотой от 10–30 ppb на 85 км до 100–300 ppb на 100 км. Также обнаружено, что на высотах около 95–100 км содержание газа в 3–4 раза уменьшается от области полуночи к области терминатора планеты: 150–200 ppb против 50 ppb. Такое поведение схоже с ночным распределением атомарного кислорода, по которому можно судить о глобальной циркуляции атмосферы из подсолнечной точки в противосолнечную на высотах ~ 100 км [1]. Коэффициент корреляции распределений SO_2 и O составил 0.73, что может говорить о процессах окисления серы как источнике формирования SO_2 в области полуночи. С другой стороны, по предварительным оценкам увеличение содержания двуокиси серы выше 85 км коррелирует с плотностью аэрозольных частиц в мезосфере – капель серной кислоты [2].

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ № 16-02-00633а.

1. Soret L., J. C. Gérard, F. Montmessin, et al. Atomic oxygen on the Venus nightside: Global distribution deduced from airglow mapping // Icarus. 2012. Vol. 217. P. 849–855.
2. Luginin M.S., A. Fedorova, D. Belyaev, et al. Aerosol properties in the upper haze of Venus from SPICAV IR data // Icarus. 2016. Vol. 277. P. 154–170.

Distribution of sulphur oxides on the night side of Venus' upper mesosphere

D.A. Belyaev[1] (bdenya.iki@gmail.com), D.G. Evdokimova[1], F. Montmessin[2], J.-L. Bertaux[2], A.A. Fedorova[1], M.S. Luginin[1]

[1]*Space Research Institute RAS, 84/32 Profsoyuznaya str., 117997 Moscow, Russia*
[2]*LATMOS/CNRS, Quartier des Garennes, 11 bd. d'Alembert, 78280 Guyancourt, France*

The cycle of sulphur bearing species on Venus is mainly controlled by the chemistry of sulphur dioxide (SO_2), whose photolysis and oxidation is the source of the planet clouds. Venus' clouds consist of sulphuric acid droplets (75–80 % of concentration in water) that totally enshroud Venus at altitudes 50–70 km. Recent observations onboard ESA's Venus Express (VEX) orbiter and from ground-based telescopes have shown diurnal and latitude variability of SO_2 content for a few years: from 20 to 500 ppb at the cloud top on the dayside. On the night side, where the molecular photolysis is ineffective, the SO_2 behavior has not been studied in detail so far.

In this paper we present the first night side distribution of SO_2 content in Venus' upper mesosphere (altitudes from 85 to 105 km). The dataset is based on the SPICAV UV stellar occultation experiment which took place onboard the VEX orbiter in 2006–2014. The UV channel of SPICAV spectrometer detected absorption bands of SO_2 and CO_2 in the spectral range 180–300 nm with a resolution of 1–2 nm while stellar light was occulted by the mesosphere. Altitude profiles of sulfur dioxide's volume mixing ratio (VMR) could be retrieved in the upper part of the mesosphere covering the whole night side on Venus: from the evening to the morning twilights. On average the SO_2 VMR increases with altitude from 10–30 ppb at 85 km to 100–300 ppb at 100 km in both regimes of occultation. The midnight SO_2 abundance appears to be 3–4 times higher than in the terminator region: 150–200 ppbv versus 50 pppv at altitude around 95 km. These new results were compared with the distribution of oxygen atoms, which are tracers of the global subsolar-antisolar (SS-AS) circulation at ~ 100 km (the data provided by Soret et al. [1]). The night time behavior looks similar for SO_2 molecules and O atoms with a correlation coefficient $R_{corr} = 0.73$. Moreover, the retrieved SO_2 enrichment above 85 km appears to correlate with the density of H_2SO_4 droplets [2].

This work was supported by the RFFI grant #16-02-00633a.

1. Soret L., J. C. Gérard, F. Montmessin, et al. Atomic oxygen on the Venus nightside: Global distribution deduced from airglow mapping // Icarus. 2012. Vol. 217. P. 849–855.
2. Luginin M.S., A. Fedorova, D. Belyaev, et al. Aerosol properties in the upper haze of Venus from SPICAV IR data // Icarus. 2016. Vol. 277. P. 154–170.

Effects of lightening on ionospheric anomalies over Tehran area

Shirin Zandian[1] (shzandian@gmail.com), Mohammad Hossein Memarian[1] (memarian@yazd.ac.ir), Mohammad Joghataei[1], Saeed Farzaneh[2]
[1]*Department of Physics, University of Yazd, Yazd, Iran*
[2]*Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran*

Lower and upper atmospheric phenomena interact to each other via different ways. The ionosphere can be affected by lower atmosphere forcing such as lightening discharges, functioning of high-power transmitters, high-power explosion, earthquakes, volcano eruptions, and typhoons through a chain of interconnected processes in the lithosphere-atmosphere-ionosphere interaction system. Thunderstorms play a major role in transferring energy from the lower atmosphere to the ionosphere. There are two possible mechanism for such interactions. Momentum deposition of gravity waves near mesopause and electrical discharges of upper atmospheric lightning are of possible mechanism. However, the full knowledge of the interconnection between lower and upper atmosphere remains unresolved.

The interaction between thunderstorms activity with ionospheric anomaly is investigated in this study. Ionosonde data of Geophysics Institute of University of Tehran and Tehran meteorological data are used to identify the convective storms and corresponding interaction. In order to find a proper time of lightning, WWLLN data were also used. In addition, monthly and daily changes in Vertical Total Electron Content (VTEC), which was processed from Tehran's GPS station data, were also used. The results show increasing in daily maximum VTEC and sporadic E layer frequency and height during the convective storm (especially an appropriate caseon 30 May, 2007 was considered). High correlation between F2 critical frequency and GPSVTEC confirms the validity of these results.

Пространственно-временные распределения характеристик ИК эмиссий атомарного кислорода (63 мкм) и углекислого газа (15 мкм) в верхней атмосфере

Семенов А.И.[1] (anasemenov@yandex.ru), Медведева И.В.[2], Перминов В.И.[1], Хомич В.Ю.[3]
[1]*Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия*
[2]*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*
[3]*Институт электрофизики и электроэнергетики РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Инфракрасные (ИК) эмиссии атомарного кислорода O(3P) (63 мкм) и углекислого газа CO_2 (15 мкм), возникающие на высотах верхней мезосферы и нижней термосферы (МНТ), играют важную роль в формировании теплового режима верхней атмосферы и энергетического баланса на этих высотах. Поэтому информация о пространственно-временных вариациях этих эмиссий необходима для учета вклада ИК излучения области МНТ в механизмы охлаждения верхней атмосферы на различных широтах в различные интервалы времени (сезонные, суточные вариации и т.д.) для различных уровней солнечной активности. В работе проведена систематизация и выполнен анализ многолетних данных ракетных и спутниковых измерений инфракрасного излучения атомарного кислорода O(3P) и углекислого газа CO_2 в верхней атмосфере. Проанализированы фотохимические атмосферные процессы, приводящие к возникновению излучения O(3P) 63 мкм и CO_2 15 мкм.

Созданы эмпирические модели, описывающие пространственно-временные распределения характеристик эмиссий O(3P) и CO_2 для различных гелиогеофизических условий. Полученные аналитические соотношения дают возможность прогнозировать поведение эмиссий 63 мкм и 15 мкм для различных уровней активности Солнца. Обнаружено, что зависимость поведения интенсивностей эмиссий 63 мкм и 15 мкм от уровня солнечной активности имеет нелинейный характер. Выявлено, что высотный профиль

объемной интенсивности эмиссии атомарного кислорода 63 мкм, максимум которой находится около 100 км, также зависит от уровня солнечной активности. Проанализированы сезонные вариации интенсивности эмиссий O(3P) и CO_2. Обнаружено незначительное (~ 10%) увеличение интенсивности эмиссии атомарного кислорода 63 мкм в летний период. Сезонный ход интенсивности эмиссии 15 мкм имеет минимум в летний период и максимум в зимний.

Исследовано широтное поведение интенсивности эмиссии CO_2. Анализ среднегодовой зависимости интенсивности излучения 15 мкм CO_2 от географической широты показал, что интенсивность излучения растет в обоих полушариях с ростом широты. В районе экватора наблюдается небольшой максимум интенсивности излучения этой эмиссии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00120-а.

Spatio-temporal distribution of the characteristics of the infrared emissions of atomic oxygen (63 μm) and carbon dioxide (15 μm) in the upper atmosphere

Semenov A.I.[1] (anasemenov@yandex.ru), Medvedeva I.V.[2], Perminov V.I.[1], Khomich V.Yu[3]
[1]*A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia*
[2]*Institute of Solar-Terrestrial Physics, SB RAS, Irkutsk, Russia*
[3]*Institute of Electrophysics and Electric Power, RAS, Saint-Petersburg, Russia*

Infrared (IR) emissions of atomic oxygen O (3P) (63 μm) and carbon dioxide CO_2 (15 μm), originating at the heights of the upper mesosphere and lower thermosphere (MLT), play an important role in the formation of the thermal state and the energy balance of the upper atmosphere. Therefore, information on the spatial and temporal variations of these emissions is necessary to take into account the contribution of the IR radiation of the MLT in the mechanisms of the upper atmosphere cooling at different latitudes at different time intervals (seasonal and diurnal variations, etc.) for various levels of the solar activity. We systematized and analyzed long-term data of rocket and satellite measurements of the infrared emissions of atomic oxygen O (3P) and carbon dioxide CO_2 in the upper atmosphere. Photochemical atmospheric processes, leading to the origin of the O(3P) 63 μm and 15 μm CO_2 emissions, were analyzed.

We created empirical models describing the spatial and temporal distribution of the O (3P) and CO_2 emission characteristics for different helio-geophysical conditions. The obtained analytical relations allow us to predict the behavior of the emission 63 μm and 15 μm for different levels of solar activity. It is found, that the dependence of the behavior of the 63 μm and 15μm emissions intensities from the solar activity has non-linear character. It is revealed, that the height profile of the 63 μm volume emission rate, which maximum is about 100 km, also depends on the solar activity level. The seasonal variations in the O (3P) and CO_2 emissions intensities were analyzed. It was found a slight (about 10%) increase in the intensity of the 63 μm atomic oxygen emission in summer. Seasonal variation in the 15 μm emission intensity has a minimum in summer and maximum in winter.

Latitudinal behavior of the CO_2 emission intensity is investigated. Analysis of dependency of the annual mean CO_2 emission intensity on the geographical latitude has revealed that the intensity increases in both hemispheres with increasing latitude. In the equatorial region there is a small maximum in the CO_2 emission intensity.

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research Grant No. 16-05-00120-a.

Статистика внезапных стратосферных потеплений и их влияние на содержание NO_2 и O_3

Груздев А.Н. (a.n.gruzdev@mail.ru), Агеева В.Ю., Елохов А.С., Мохов И.И.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

По данным реанализов NCEP-NCAR, ERA 40 и ERA-Interim выявлена статистически значимая зависимость формирования больших (мажорных) и малых (минорных) внезапных стратосферных потеплений (ВСП) от уровня солнечной активности (СА) и фазы квазидвухлетней цикличности (КДЦ). Большие ВСП, сопровождающиеся смещением стратосферного циркумполярного вихря (потепления С-типа), происходят чаще при высоком уровне СА и при восточной фазе КДЦ экваториального стратосферного ветра в слое 40–50 гПа, а малые ВСП, наоборот, чаще при низком уровне СА и при западной фазе КДЦ. При объединении больших ВСП С-типа и малых ВСП в единую группу статистически значимая зависимость ВСП от фазы КДЦ или фазы 11-летнего солнечного цикла не выявлена. Влияние КДЦ и СА проявляется через соотношение больших потеплений типа С и малых потеплений таким образом, что восточная фаза КДЦ или высокий уровень СА способствуют тому, что потепление, начавшееся на высотах верхней стратосферы и нижней мезосферы, при его распространении вниз достигает такого уровня интенсивности в нижележащих слоях стратосферы, чтобы его можно было классифицировать как большое ВСП. Смещение стратосферного полярного вихря при больших ВСП происходит обычно в сторону определенных долготных секторов. В дни больших ВСП С-типа стратосферный вихрь обычно располагается над центральной и северной частями Европы. С внешней стороны вихря происходит интенсивный перенос стратосферного воздуха со значительной меридиональной составляющей в сторону полюса на восточной периферии вихря, обычно находящейся над Сибирью. Изменения температуры и стратосферного содержания O_3 и NO_2 в этом регионе противоположны изменениям в той части европейского сектора, над которой располагается сместившийся стратосферный вихрь. При больших ВСП, сопровождающихся расщеплением полярного вихря (потепления Р-типа), в большинстве случаев один из фрагментов вихря смещается в область канадской Арктики, а другой – к северной части Евразии. ВСП оказывают сильное влияние на интенсивность меридиональной циркуляции, что приводит к значительным изменениям содержания малых газовых составляющих в стратосфере.

По результатам наземных спектрометрических измерений общего содержания (ОС) NO_2, спутниковых измерений общего содержания озона (ОСО) и температурным данным из реанализа ERA-Interim выявлены характерные особенности изменчивости этих параметров при больших ВСП. Большие ВСП могут приводить к значительным аномалиям ОС NO_2, ОСО и стратосферной температуры, и знак аномалий может быть положительным или отрицательным в зависимости от положения пункта наблюдений относительно стратосферного вихря. Сильные отрицательные аномалии ОС NO_2, ОСО и стратосферной температуры, обусловленные ВСП С-типа, выявлены в средних и полярных широтах. Сильные положительные аномалии ОС NO_2 и ОСО чаще наблюдались при ВСП Р-типа и вызывались переносом стратосферного воздуха из низких широт. ВСП оказывают значительное влияние на вертикальную структуру стратосферного циркумполярного вихря и могут приводить к значительным изменениям вертикального профиля NO_2. Изменения концентрации NO_2 в разных стратосферных слоях могут быть разнонаправленными, когда край полярного вихря располагается над пунктом наземных наблюдений.

Statistics of sudden stratospheric warmings and their influence on the NO_2 and O_3 contents

A.M. Gruzdev (a.n.gruzdev@mail.ru), V.Yu. Ageyeva, A.S. Elokhov, I.I. Mokhov
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, 3 Pyzhevsky per., 119017 Moscow, Russia

Using the NCEP-NCAR, ERA 40 and ERA-Interim reanalyses, statistically significant dependences of formation of major and minor sudden stratospheric warmings (SSWs) on the level of solar activity (SA) and the phase of the quasi-biennial oscillation (QBO) have been revealed. Major SSWs accompanied by a displacement of the stratospheric circumpolar vortex (warmings of D type) occur more often at high SA level and at the easterly phase of the QBO in the equatorial stratospheric wind in 40–50 hPa layer, while minor SSWs, on the contrary, occur more often at low SA level and at the westerly phase of the QBO. If major SSWs of D-type and minor SSWs are combined into the same group, a statistically significant dependence of the SSWs has not been revealed either on the QBO phase or on the phase of the 11-year solar cycle. The QBO and SA influences manifest through the ratio of D-type major warmings and minor warmings in such a way that the easterly QBO phase or a high SA level facilitate that a warming beginning at heights of the upper stratosphere and lower mesosphere and propagating downwards reaches such an intensity in the underlaying stratosphere that it (the warming) can be classified as a major SSW. At major SSW the displacement of the stratospheric polar vortex usually occurs in the direction of a certain longitudinal sectors. On days of a major SSW the stratospheric vortex is typically located over the central and northern parts of Europe. Outside the vortex there is an intensive transport of stratospheric air with a significant meridional component oriented poleward on the eastern periphery of the vortex that is usually located over Siberia. Changes in temperature and stratospheric O_3 and NO_2 in this region are opposite to change in that part of the European sector over which the displaced stratospheric vortex is. At major SSWs accompanied by a splitting of the polar vortex (warmings of S type), in most cases one of the fragments of the vortex is displaced to the Canadian Arctic and the other – to the northern part of Eurasia. SSWs have a strong influence on the intensity of the meridional circulation, which leads to significant changes in contents of minor gaseous species in the stratosphere.

Using results of ground-based spectrometric measurements of column NO_2, satellite measurements of total ozone, and ERA-Interim temperature data, the characteristic features of variability of these parameters at major SSWs have been revealed. Major SSWs can lead to significant anomalies of column NO_2, total ozone, and stratospheric temperature, and the sign of the anomalies may be positive or negative depending on the position of an observational site relative to the stratospheric vortex. Strong negative anomalies of column NO_2, total ozone, and stratospheric temperature caused by D-type SSWs have been identified in the middle and polar latitudes. Strong positive anomalies of column NO_2 and total ozone were more often observed at S-type SSWs and were caused by the transport of stratospheric air from lower latitudes. SSWs have a significant impact on the vertical structure of the stratospheric circumpolar vortex and can lead to significant changes in the vertical profile of NO_2. Changes in the concentration of NO_2 in different stratospheric layers can be opposite in sign when the edge of the polar vortex is located over the site of ground-based observations.

СЕКЦИЯ 9. "ФОТОХИМИЯ и КИНЕТИКА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ АТОМОВ и МОЛЕКУЛ и НЕРАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ в АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ и ДРУГИХ ПЛАНЕТ"

Председатель: к.ф.-м.н. **В.А. Янковский** (СПбГУ, СПб, Россия)
Сопредседатель: Dr. **Artem G. Feofilov** (Ecole Polytechnique, Universite Paris-Saclay, France)

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: Dr. **V.A. Yankovsky** (SPbSU, SPb, Russia)
Co-chairman: Dr. **Artem G. Feofilov** (Ecole Polytechnique, Universite Paris-Saclay, France)

New non-LTE model of the nighttime OH and CO_2 IR emissions in the mesopshere/lower thermosphere

P. Panka[1,2], A. Feofilov[3] (artem.feofilov@lmd.polytechnique.fr), L. Rezac[4], A. Kutepov[2,5], K. Kalogerakis[6], D. Janches[2], J. Russell III[7], D. Marsh[8], and E. Yigit[1]

[1]*Department of Physics and Astronomy, George Mason University, Fairfax, VA, USA*
[2]*NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA*
[3]*Laboratoire de Météorologie Dynamique, UPMC Univ Paris 06, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France*
[4]*Max Planck Institute for Solar System Research, Gottingen, Germany*
[5]*The Catholic University of America, Washington, DC, USA*
[6]*Center for Geospace Studies, SRI International, Menlo Park, California, USA.*
[7]*Hampton University, Hampton, Virginia, USA*
[8]*National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA*

We present a new detailed non-LTE model of OH and CO_2 for the nighttime mesosphere/lower thermosphere. The model accounts for chemical production of vibrationally excited OH and for various vibrational-vibrational (VV) and vibrational-translational (VT) energy exchanges with main atmospheric constituents. It accounts also for the new "indirect" vibrational-electronic (VE) mechanism OH(v) ->O(1D) -> N_2(v) -> $CO_2(v_3)$ of the OH vibrational energy transfer to N_2 and further to CO_2 vibrations, which was recently suggested by Sharma et al. [1] and confirmed through laboratory studies by Kalogerakis et al. [2]. We study the impact of this mechanism on the OH(v) and CO_2(v) populations and emissions in the SABER/TIMED channels at 1.6, 2.0 and 4.3 µm as well as compare our modeled results with the ground and space observations of the OH(v) emissions. We show that compared to previous models our new model significantly better reproduces aforementioned ground and space observations for various atmospheric conditions and discuss the implications this will have on the retrieval of OH, O and CO_2 densities from the SABER nighttime observations.

1. Sharma, R.D., Wintersteiner, P.P., and Kalogerakis, K.S. A new mechanism for OH vibrational relaxation leading to enhanced CO_2 emissions in the nocturnal mesosphere. Geophys. Res. Let. 2015. Vol. 42, P. 4639–4647, doi:10.1002/2015GL063724
2. Kalogerakis, K.S., Matsiev, D., Sharma, R.D., and Wintersteiner, P.P. Resolving the mesospheric nighttime 4.3µm emission puzzle: Laboratory demonstration of new mechanism for OH(v) relaxation. Geophys. Res.Let. 2016. Doi:10.1002/2016GL069645.

Фотохимия свечения атомарного кислорода в линии 98.9 нм в верхней атмосфере Земли

Шематович В.И. (shematov@inasan.ru)

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

Зондирующие ракетные измерения, проведенные в 1988 году в условиях высокой солнечной активности, показали, что интенсивность термосферного свечения OI в линии 98.9 нм характеризуется аномальным вертикальным профилем, показывая экзосферные интенсивности гораздо выше значений, предсказанных моделью радиационного переноса, которая включает известные на то время источники возбужденного кислорода. Все попытки,

основанные на моделировании фотохимических процессов и переноса излучения, не смогли объяснить, почему измеренные яркости выше, чем предсказанные моделью. Совсем недавно, при помощи инструмента SOHO-SUMER проведены новые измерения потоков солнечной УФ радиации с высоким спектральным разрешением и, в частности, был измерен значительный поток солнечного излучения в линии кислорода на длине волны 98.9 нм. Такой источник фотонов ранее не учитывался при моделировании.

В данном исследовании выполнено моделирование переноса излучения мультиплета OI 98.9 нм, в котором учитывались фотохимические источники возбужденного кислорода, резонансное рассеяние солнечных фотонов и надтепловые атомы кислорода, т.е. фракция быстро движущихся атомов кислорода, образующихся в области надтепловых энергий распределения по кинетическим энергиям благодаря нетепловым процессам. В частности, включение рассеяния на солнечном мультиплете на длине волны 98.9 нм, позволило получить хорошее согласие расчетов с предыдущими наблюдениями ракетного зондирования. Получено также хорошее согласие между результатами моделирования и данными ракетных измерений для свечения атомарного кислорода в линии 130.4 нм.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН №1.7 "Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд".

Photochemistry of oxygen 98.9 nm ultraviolet emission in the Earth's upper atmosphere

V.I. Shematovich (shematov@inasan.ru)
Institute of Astronomy RAS, 48 Pyatnitskaya str., 119017 Moscow, Russia

Sounding rocket measurements conducted in 1988 under high solar activity conditions have revealed that the intensity of thermospheric OI emissions at 98.9 nm present an anomalous vertical profile, showing exospheric intensities much higher than expected from radiative transfer model results, which included the known sources of excited oxygen. All attempts based on modeling of the photochemical processes and radiative transfer were unable to account for the higher than predicted brightnesses. More recently, the SOHO-SUMER instrument measured the UV solar flux at high spectral resolution, revealing a significant oxygen emission at 98.9 nm: a source of photons that had not been accounted for before.

In this study, we simulate the radiative transfer of the OI 98.9 nm multiplet, including the photochemical sources of excited oxygen, the resonant scattering of solar photons, and the effects of non-thermal atoms, i.e. a population of fast-moving oxygen atoms in excess of the Maxwellian distribution. Including the scattering of the 98.9 nm solar multiplet, we find good agreement with the previous sounding rocket observation. The inclusion of a nonthermal oxygen population with a consistent increase of the total density produces a larger intensity at high altitude that apparently better accounts for the observation, but such an correction is not absolutely necessary given the uncertainties of the observation. A good agreement between model and sounding rocket observation is also found for oxygen emission at 130.4 nm.

This work is supported by the Research Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences (Program 1.7 "Experimental and theoretical studies of the Solar system objects and stellar planetary systems").

Особенности вариаций потоков излучения в водородной линии Лайман-альфа в D-области ионосферы

Дышлевский С.В.[1] (sergiodd@mail.ru), БеликовЮ.Е.[2]
[1]*МГИМО МИД России, пр. Вернадского 76, 119454 Москва, Россия*
[2]*Институт прикладной геофизики им. Е.К. Федорова, Ростокинская ул. 9, 129128 Москва, Россия*

На основе решения уравнения переноса излучения для сферической атмосферы моделируются потоки излучения в водородной линии Лайман-альфа (L-a) в D-области

ионосферы. Модель позволяет учитывать эффекты многократного рассеяния и оценивать потоки излучения в дневной, сумеречной и ночной атмосфере. Оценивались как прямые, так и рассеянные потоки в линии L-a. Основной перенос рассеянного излучения происходит на “крыльях” линии L-a с максимумами на длинах волн примерно 1215.64 Å и 1215.69 Å. Для учета потоков как прямого, так и рассеянного излучения в линии L-a с центром 1215.668 Å спектральный интервал 1215.57–1215.77 Å, в котором моделировался перенос излучения, разбивался на небольшие участки спектра размером от 0.01 Å до 0.004 Å, и результирующий поток суммировался по этим участкам во всём спектральном интервале линии L-a. Обнаружено два основных эффекта.

1). Выявлено наличие сезонной аномалии потоков излучения в дневных условиях, а именно: зимние потоки излучения в D-области ионосферы при одинаковых зенитных углах Солнца χ могут превосходить летние в несколько раз. Этот эффект, по нашему мнению, может быть связан с известным эффектом зимней аномалии в средних широтах и, по крайней мере, частично объяснять его. Эффект зимней аномалии заключается в том, что концентрации электронов в средних широтах зимой превышают, как правило, летние, достигая порядка величины и более. Это увеличение электронной концентрации может быть в значительной степени обусловлено сезонным ходом потоков излучения в линии L-a, которое вызывает ионизацию молекул NO. Выявлено, что сезонные вариации потоков в D-области связаны с перераспределением O_2 от лета к зиме в D- и нижней E-областях ионосферы: из-за поглощения излучения молекулярным кислородом зимние потоки излучения превышают летние. Этот результат позволяет, по крайней мере, частично объяснить причину так называемого метеорологического контроля D-области и корреляцию электронной концентрации с температурой атмосферы на более низких высотах (~ 30–50 км). Поскольку, согласно наблюдениям и моделям атмосферы, существует антикорреляция температуры и плотности на высотах 30–50 и 80–90 км, то, вероятно, и вариации атмосферных параметров на высотах ~ 30–50 км коррелируют с потоками излучения и, соответственно, с электронной концентрацией в D-области ионосферы.

2) Показано, что в сумеречных и ночных условиях значительный вклад в поток излучения в D-область ионосферы вносит рассеяние на водороде в атмосфере Земли. При увеличении зенитного угла Солнца χ рассеянное излучение вначале сравнивается с прямым, а затем превосходит его, и при достаточно больших χ прямым излучением Солнца в D-области ионосферы можно пренебречь. Причём зимой вклад рассеянного излучения превышает вклад прямого при меньших зенитных углах χ. Распространение излучения в D-область ионосферы в сумеречных и ночных условиях является аналогом известного сумеречного эффекта увеличения прозрачности атмосферы при появлении рассеивающего слоя над поглощающей средой. При этом поглощающей средой является O_2, рассеивающей – атомарный водород H. Вариации излучения в сумеречных и ночных условиях зависят как от оптической толщины поглощения O_2, так и от оптической толщины рассеяния H, концентрация которого может сильно изменяться в земной атмосфере в зависимости от солнечной активности.

The specific features of radiation flux variations in the hydrogen line Layman-alpha in D-region of the ionosphere

S.V. Dyshlevsky[1] (sergiodd@mail.ru), Yu. E. Belikov[2]
[1]*MGIMO University, 76 Vernadsky ave., 119454 Moscow, Russia*
[2]*E.K. Fedorov Institute of Applied Geophysics, 9 Rostokinskaya str., 129128 Moscow, Russia*

The model calculation results of the radiation flux variations in the Earth’s atmosphere hydrogen line Layman-alpha (L-a) in the D-region of the ionosphere are presented. The model is based on the transfer equation solution for the spherical atmosphere and allows to take into account the multiscattering effects and estimate the radiation fluxes in the daytime, twilight and nighttime atmosphere. The calculations were carried out both for the direct and scattered fluxes in the L-a

line. The main transfer of the scattered radiation proceeds at the L-a line ‘wings’ at the wavelengths about 1215.64 Å and 1215.69 Å. For detailed study of both direct and scattered fluxes in the L-a line, centered at the wavelength of 1215.668 Å, the spectral interval from 1215.57 Å to 1215.77 Å was divided into narrow spectral pieces with the lengths from 0.01 Å to 0.004 Å. The resulted flux was calculated by integration of the separate fluxes in those pieces over the whole spectral interval of the L-a line. Two main effects were found.

1) The seasonal radiation anomaly of the daytime radiation fluxes was revealed, that is the wintertime radiation fluxes in the D-region of the ionosphere at the same sun zenith angles χ may exceed the summertime ones by several times. From the authors’ point of view, this effect can be related to a well-known winter anomaly effect in the middle latitudes and, at least, partially be responsible for it. The winter anomaly effect means that, as a rule, electron concentrations in the middle latitudes in wintertime exceed those ones in summer by an order of magnitude, or more. In a considerable degree this electron concentration rise can be accounted for the seasonal variation of the radiation fluxes in the L-a line, which may cause the ionization of the NO molecules. It is found that the seasonal flux variations are related to the O_2 interseasonal redistribution in the D- and lower E-regions of the ionosphere, and due to the greater radiation absorption by O_2 in summer the winter fluxes exceed the summer ones. This result allows, at least partially, explain the causes of so-called meteorological control of the D-region and correlation of the electron concentration with the atmospheric temperature at lower altitudes (~ 30–50 km). While according to observations and atmospheric models there is a negative correlation of temperature and density between the heights of 30–50 and 80–90 km it is quite probable that atmospheric parameters variations at altitudes about ~ 30–50 km correlate with the radiation fluxes and, correspondingly, with the electron concentration in the D-region of the ionosphere.

2) It is shown that in twilight and nighttime the scattering on the Earth atmospheric hydrogen makes a significant contribution to the radiation flux in the D-region of the ionosphere. With the increase of solar zenith angle χ the scattered radiation flux at first becomes equal to the direct one, and then exceeds it, and with the rather large χ one can neglect the direct solar radiation in the D-region of the ionosphere. Note, that in winter the contribution of the scattered radiation exceeds that one of the direct radiation at smaller solar zenith angles, than in summer. The radiation transmission in the D-region in the twilight and nighttime conditions is analogous to a certain effect of the atmospheric transparency increase in twilight in a case of the scattering layer formation over the absorbing medium. In our case those media are O_2 and the atomic hydrogen H, correspondingly. The radiation variations under twilight and nighttime conditions depend both on the optical absorption depth of O_2 and the optical scattering depth of H, the concentration of the latter may vary strongly with the changes in solar activity.

Населенности колебательных состояний молекул CO_2 и CO в дневной атмосфере Марса

Огибалов В.П. (v.ogibalov@spbu.ru), Швед Г.М.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Поглощение солнечного излучения в полосах 4.3, 2.7, 2.0, 1.6, 1.4, 1.3, 1.2 и 1.05 мкм CO_2 и 4.7, 2.3, 1.6 и 1.2 мкм CO приводит в атмосфере Марса к неравновесной населенности соответствующих колебательных состояний этих молекул. Проводилось моделирование населенности высоких колебательных состояний CO_2 от состояния 001 до семейства состояний (203, 043), а для CO – вплоть до четырехкратного колебательного возбуждения молекулы. Получены следующие новые результаты:

(1) В холодной высокоширотной тропосфере существенное отклонение населенностей от их равновесных значений начинается значительно ниже, чем для типичных температурных условий в тропосфере.

(2) Пренебрежение отражением солнечного излучения от поверхности может существенно занизить оценки населенности колебательных состояний, по крайней мере в некотором слое нижней атмосферы.

(3) Но пренебрежение неупругими столкновениями молекул CO_2 и CO с атомами O не влияет существенно на населенности.

(4) На населенность колебательных состояний также практически не влияют возможные большие значения констант скорости столкновительного тушения колебательных состояний выше состояния CO_2(001).

(5) Однако к очень большим погрешностям в оценках населенности колебательных состояний молекулы CO_2 (но не молекулы CO!) может приводить существующая неопределенность в значениях констант скорости обмена молекул CO_2 квантом энергии валентного асимметричного колебания молекулы.

(6) Для этого межмолекулярного обмена предложена рекомендация, как ограничить степень колебательного возбуждения молекулы, являющейся партнером по столкновению, обеспечив при этом достаточно высокую точность оценки населенностей.

Исследование поддержано грантом РФФИ 15-02-07442а.

Populations of vibrational states of CO_2 and CO molecules in the daytime atmosphere of Mars

V.P. Ogibalov (v.ogibalov@spbu.ru), G.M. Shved

Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

Absorption of solar radiation in the CO_2 bands near 4.3, 2.7, 2.0, 1.6, 1.4, 1.3, 1.2 and 1.05 μm and the CO bands near 4.7, 2.3, 1.6 and 1.2 μm results in a nonequilibrium population of the relevant vibrational states of these molecules in the Mars atmosphere. Modeling the populations of high vibrational CO_2 states was performed for the states from the 001state to the state family of (203, 043). As for CO, that was made up to the four-fold vibrational excitation of the molecule. The following new results have been obtained:

(1) In the cold high-latitude troposphere, the significant deviation of populations from their equilibrium values starts significantly lower than for typical temperature conditions in the troposphere.

(2) The neglect of solar radiation reflection from the surface can substantially underestimate the populations of vibrational states, at least in some layer of the lower atmosphere.

(3) But ignoring the inelastic collisions of CO_2 and CO molecules with O atoms does not significantly influence on the populations.

(4) The possible large values of rate constants for the collisional quenching of vibrational states which are above the CO_2(001) state do not actually influence on the population of vibrational states as well.

(5) However, the existing uncertainty in rate constant values for intermolecular exchange of the CO_2 molecules by the energy quantum of the asymmetrical stretching vibrational mode can result in very large errors in population estimates for the vibrational states of the CO_2 molecule (but not of the CO molecule!).

(6) For this intermolecular exchange, the recommendation is given how to limit the degree of vibrational excitation of the molecule that is a collision partner and, at the same time, to provide a sufficiently high accuracy of population estimates.

The study was supported by Russian Foundation for Basic Research, project no. 15-02-07442a.

О возможности одновременного восстановления высотных профилей концентраций атомарного кислорода и озона в дневное время в МНТ области

Янковский В.А. (vyankovsky@gmail.com), Р.О. Мануйлова
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. факультет, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Необходимость изучения высотных распределений концентрации малых газовых составляющих, $O(^3P)$, O_3 и CO_2, в области мезосферы и нижней термосферы (МНТ) вызвана, в частности, тем обстоятельством, что они отвечают за тепловой режим области МНТ. Среди этих компонентов только высотный профиль концентрации озона может быть измерен прямым методом поглощения излучения Солнца или звезд в УФ диапазоне спектра. Однако этот метод в основном реализуется в условиях сумерек, поэтому он не может дать исчерпывающее представление о высотном профиле $[O_3]$ в течение дня. В мезосфере и нижней термосфере обычно высотный профиль атомарного кислорода восстанавливается в предположении, о том, что концентрации O_3 и $O(^3P)$ связаны между собой. Однако этот подход не позволяет восстановить высотный профиль атомарного кислорода выше 90–95 км, где концентрация озона резко уменьшается. С другой стороны, выше 80 км восстановленные значения $[O_3]$ зависят от предварительной информации о высотном профиле $[O(^3P)]$. Необходимо решить задачу одновременного независимого восстановления высотных профилей $[O_3]$ и $[O(^3P)]$. Проблема может быть решена с использованием индивидуального трассера для каждого целевого компонента ($[O(^3P)]$ или $[O_3]$).

На основании исследования чувствительности и анализа неопределенности современной модели фотолиза O_3 и O_2 в МНТ, YM2011, мы пришли к выводу о возможности использования пяти возбужденных компонент, а именно, электронно-колебательно возбужденных молекул $O_2(b^1\Sigma_g^+$, v = 0, 1, 2) и $O_2(a^1\Delta_g$, v = 0), а также возбужденного атома $O(^1D)$, как трассеров $[O\ (^3P)]$ и $[O_3]$ [1, 2]. В результате проведенных исследований можно заключить, что в диапазоне высот 80–100 км возможно одновременное независимое восстановление $[O_3]$ и $[O(^3P)]$ при использовании эмиссий, образованных переходами с трех электронно-колебательно возбужденных уровней $O_2(b^1\Sigma_g^+$, v = 0, 1, 2).

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 17-05-00532.

1. Yankovsky V.A., Martyshenko K.V., Manuilova R.O., Feofilov A.G. Oxygen Dayglow Emissions as Proxies for Atomic Oxygen and Ozone in the Mesosphere and Lower Thermosphere // J. Molecular Spectroscopy. 2016. Vol. 327. P. 209–231, doi:10.1016/j.jms.2016.03.006.
2. Martyshenko K.V., Yankovsky V.A. IR Band of O_2 at 1.27 μm as the Tracer of O_3 in the Mesosphere and Lower Thermosphere: Correction of the Method // Geomagnetism and Aeronomy. 2017. Vol. 57. P. 229–241, doi: 10.1134/S0016793217020098.

On the possibility of simultaneous retrieval of the altitude profiles of daytime atomic oxygen and ozone concentrations in the MLT region

Valentine A. Yankovsky (vyankovsky@gmail.com), Rada Manuilova
Saint-Petersburg State University, Physics Faculty, 1 Ulyanovskaya str., 198504 Saint-Petersburg, Russia

The small components of the Earth daytime mesosphere and lower thermosphere (MLT), $O(^3P)$, O_3 и CO_2, are responsible for the thermal regime of MLT region. Among these components only the altitude profile of the ozone concentration can be measured by a direct method of absorbing radiation of the Sun or the stars in the UV range of the spectrum. However, this method is mostly realized in the conditions of twilight, so it cannot give a comprehensive presentation of the altitude profile of $[O_3]$ throughout the daytime hours. Altitude profile of the atomic oxygen is usually retrieved on the assumption that it is connected with ozone. However, in the framework of this approach, one cannot retrieve the altitude profile of atomic oxygen above 90–95 km, where the ozone concentration decreases sharply. Above 80 km retrieved values of $[O_3]$ depend on a prior

information about [O(^{3}P)] altitude profile. The problem can be solved by using individual proxy for each of the target component ([O (^{3}P)] or [O_3]).

Using a sensitivity study and uncertainty analysis of the contemporary model of O_3 and O_2 photolysis in the MLT, YM2011, we have tested five excited components, namely, the electronic-vibrationally excited molecules $O_2(b^1\Sigma_g^+$, v = 0, 1, 2) and $O_2(a^1\Delta_g$, v = 0), and also excited atom O(^{1}D) as [O(^{3}P)] and [O_3] proxies [1, 2]. We conclude, that in the altitude range of 80–100 km simultaneously independent retrievals of [O_3] and [O(^{3}P)] are possible using the emissions from three excited levels $O_2(b^1\Sigma_g^+$, v = 0, 1, 2).

The study is partly supported by grant RFBR No.17-05-00532.

1. Yankovsky V.A., Martyshenko K.V., Manuilova R.O., Feofilov A.G. Oxygen Dayglow Emissions as Proxies for Atomic Oxygen and Ozone in the Mesosphere and Lower Thermosphere // J. Molecular Spectroscopy. 2016. Vol. 327. P. 209–231, doi:10.1016/j.jms.2016.03.006.
2. Martyshenko K.V., Yankovsky V.A. IR Band of O_2 at 1.27 μm as the Tracer of O_3 in the Mesosphere and Lower Thermosphere: Correction of the Method // Geomagnetism and Aeronomy. 2017. Vol. 57. P. 229–241, doi: 10.1134/S0016793217020098.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абакумова Г.М. 161
Абшаев А.М. 73
Агеева В.Ю. 254
Акперов М.Г. 53
Аммосов П.П. 210, 245, 246, 247
Аммосова А.М. 210, 245, 246, 247
Андреев А.Б. 225
Андрианов А.Ф. 238
Аникин П.П. 149
Анискина О.Г. 216
Антохин П.Н. 225
Антохина О.Ю. 225
Арабаджян Д.К. 80
Артамонов А.Ю. 157
Артюшина А.В. 131
Асмус В.В. 13
Астафуров В.Г. 26
Балин Ю.С. 140
Басс Л.П. 95, 96, 107
Баханов В.В. 87
Бахметьева Н.В. 238
Беликов Ю.Е. 175, 257
Белов В.В. 179
Белов С.Ю. 199
Белова И.Н. 199
Беляев Д.А. 250
Бессараб Ф.С. 219
Бойко В.А. 42
Борисова Н.Ф. 195
Боровой А.Г. 133
Боровский А.Н. 29
Бородин О.О. 137
Борчевкина О.П. 219
Бубнова С.Е. 116
Бубукин И.Т. 70
Будак В.П. 97
Бунина Н.А. 186
Бунтов Д.В. 147
Буров В.А. 175
Бусыгин В.П. 113
Ван Генчень 121
Варгин П.Н. 227, 230
Варданян Т.Г. 159
Василенко Е.В. 31
Васильев А.В. 63
Васильев П.А. 219
Васильева А.В. 119
Веремей Н.Е. 73
Весман А.В. 34
Виноградова А.А. 119
Виролайнен Я.А. 21, 90, 91, 236
Вишератин К.Н. 17
Власенко С.С. 85, 148, 154
Волков В.А. 51
Волкова Е.В. 31, 43, 47
Волкова К.А. 93
Володин Е.М. 213
Волощенко А.М. 95
Воробьев В.А. 76
Воробьев В.В. 88
Воронина Ю.В. 112
Воронцов А.М. 68
Вульфсон А.Н. 137
Вэи К. 215
Вяхирев В.Д. 238
Гаврилов Н.М. 203, 204, 218, 223, 225
Гаврильева Г.А. 210, 245, 246, 247
Галин В.Я. 164
Галкин А.А. 127
Гаркуша А.С. 21
Говорина И.А. 116
Говоркова В.А. 173
Голицын Г.С. 6
Голобокова Л.П. 117
Головин Ю.М. 16, 49
Голомолзин В.В. 19
Горбаренко Е.В. 161, 163, 186
Городничев Е.Е. 98
Горчаков Г.И. 9, 23, 141, 221
Горчакова И.А. 149
Готюр И.А. 67
Гречко Е.И. 57
Грибанов К.Г. 40
Груздев А.Н. 254
Гурвич А.С. 72
Гурченков Д.А. 74
Гущин Г.К. 161
Гущин Р.А. 9, 145
Даценко О.И. 9, 145
Девятова Е.В. 225
Делер В. 41
Дембицкая М.А. 53
Демчев Д.М. 51
Дергаус Е.В. 42
Джола А.В. 23, 35, 57
Дзюбан И.А. 37
Длугач Ж.В. 127
Дмитриев Е.В. 54
Доброленский Ю.С. 37
Довгалюк Ю.А. 73
Дробжева Я.В. 206
Дучко А.Н. 131
Дымников В.П. 213, 240
Дышлевский С.В. 257
Евдокимова Д.Г. 250
Егоров А.Д. 54, 86
Елохов А.С. 254
Емиленко А.С. 121, 149
Еремина И.Д. 198
Ермакова Т.С. 217
Ермоленко С.И. 208
Жданова Е.Ю. 164, 187
Желтышев М.А. 59
Жендарев М.В. 74
Журавлева Т.Б. 6, 101, 131
Завелевич Ф.С. 16, 49
Задворных В.А. 189
Зайцев А.А. 25

Зайцев Н.А. 90
Заморин И.С. 61
Захаров В.И. 40, 221
Захваткина Н.Ю. 34
Захватов М.Г. 134
Звягинцев А.М. 230
Зенкова П.Н. 117
Зубов В.А. 237
Зуев С.В. 151
Зысина Н.Ю. 52
Ивангородский Р.В. 17
Иванов Д.А. 55
Иванов Ю.С. 37
Иванова Н.С. 230
Иванова О.А. 154
Игнатьев А.Н. 232
Ильин М.Ю. 61
Илюшин Я.А. 68, 135
Имхасин Х.Х. 90
Ионов Д.В. 37, 59, 90
Йыевеэр А. 161
Кабанов В.М. 6
Кабанов Д.М. 117
Кадышевич Е.А. 108
Калинников В.В. 90
Калинина Е.Е. 238
Каллис А. 161
Кан В.А. 105
Кандиева К.К. 216
Караваев Д.М. 67
Кароль И.Л. 15
Карпов А.В. 9, 141, 145
Карпов И.В. 219
Карташова Е.С. 151
Катковский Л.В. 55, 64, 93
Каттай К. 161
Катцов В.М. 173
Ким А. 103
Кирнер О. 236
Кирпанев Н.А. 88
Киселев А.А. 15
Кобзев А.А. 192
Ковадло П.Г. 209
Ковалевская О.И. 113
Коваленко Е.О. 105
Коваль А.В. 218
Ковтанюк А.Е. 103
Козелов Б.В. 127
Козлов В.С. 6, 117
Козлов Д.А. 16, 41, 49
Козлов И.А. 16, 41, 49
Козловский А.Е. 212
Козодеров В.В. 54, 179
Колокутин Г.Э. 78, 90, 168
Коломеец Л.И. 248
Коломиец С.Ф. 68
Колтовской И.И. 210, 245, 246, 247
Кондрик Д.В. 30
Коношенко В.П. 42
Коношонкин А.В. 133
Копейкин В.М. 116, 121
Кораблев О.И. 37
Коросов А.А. 34, 46
Косторная А.А. 134
Костюков А.А. 156
Косцов В.С. 90
Котонаева Н.Г. 175
Коханенко Г.П. 140
Красильников А.А. 238
Красненко Н.П. 151
Краснов В.М. 67, 206
Краснокутская Л.Д. 123, 179
Криволапова О.Ю. 42
Кровотынцев В.А. 13
Кропоткина Е.П. 232
Крякунова О.Н. 223
Кузнецов А.Д. 61, 144
Кузнецов Г.А. 147
Кузьмина М.Г. 96
Кузьмина И.Ю. 113
Кузьмичев А.С. 78
Кузовлев А.И. 98
Кукушкина А.Е. 208
Кулешов В.П. 22
Кулешов Ю.В. 67, 206
Куликов Ю.Ю. 234, 238
Кулямин Д.В. 213, 240
Курдяева Ю.А. 203
Кустова Н.В. 133
Кухарский А.В. 16, 28, 49
Кшевецкий С.П. 203, 204
Ланская О.Г. 192
Лапшин В.Б. 175
Лаулайнен Н. 161
Лемешевский С.А. 13
Лисицын А.П. 117
Логинов С.В. 177
Лугинин М.С. 250
Лукин А.Н. 232
Лукин В.П. 209
Лукьянов А.Н. 230
Лукьянова Р.Ю. 212
Лучинин А.Г. 87
Макаренков А.А. 29
Макарова М.В. 57, 80
Макриденко Л.А. 13
Максакова С.В. 78, 123, 179
Макштас А.П. 196
Малов А.М. 195
Мамонтов А.Е. 72, 157
Мануйлова Р.О. 261
Маргарян В.Г. 159
Маричев В.Н. 138, 234
Мартинов А.О. 55, 64, 93
Маслов И.А. 127
Матвеев Ю.Л. 168
Махотин М.С. 116
Махотина И.А. 196
Махоткин А.Н. 152
Махоткина Е.Л. 152
Медведева И.В. 243, 252
Мельник П.Г. 54
Мельникова И.Н. 61, 63, 142, 144
Мешков А.Н. 67
Милехин О.Е. 13

Мингалев И.В. 110, 111
Миронов Г.Н. 85, 148
Миронова Д.Э. 100
Миронова И.А. 248
Миронова С.Ю. 85, 148
Митник Л.М. 22
Митник М.Л. 22
Михайлов Е.Ф. 85, 148, 154, 156
Михайловский Ю.П. 66, 73
Мищенко А.М. 74
Моисеев А.В. 46
Монахов Д.О. 16
Морозов В.Н. 193
Мохов И.И. 23, 53, 149, 254
Моцаков М.А. 236
Музылев Е.Л. 31, 47
Мушта А.В. 34, 51
Набатчиков А.С. 74
Нагорский П.М. 192, 193
Найденов Е.В. 74
Насртдинов И.М. 6, 101, 131
Небосько Е.Ю. 154
Незваль Е.И. 166
Нейман Л. 161
Нерушев А.Ф. 17
Нечаев А.А. 68
Никифорова М.П. 230
Николаева О.В. 95, 96, 107
Николенко А.А. 78
Никулин А.Г. 16
Новигатский А.Н. 116
Новиков П.В. 138
Новиков С.С. 142
Огибалов В.П. 259
Окулов О. 161
Орлов К.Г. 110, 111
Ортель Д. 41
Осипов В.М. 195
Останин П.А. 240
Островский В.Е. 108
Охврил Т. 161
Охврил Х. 161
Пак Г.Д. 223
Панкратова Н.В. 35, 57, 116, 152
Панов А.В. 19
Панченко М.В. 6, 117
Парамонова Н.Н. 80
Пастухова А.С. 164
Пеннер И.Э. 140
Перминов В.И. 252
Петтерссон Л. 30
Петров В.В. 90
Петрушин А.Г. 125
Пильгаев С.В. 127
Плахина И.Н. 152
Поберовский А.В. 35, 37, 42, 59. 80, 90, 91, 93, 234
Погорельцев А.И. 215, 216, 217, 218, 225
Поздняков Д.В. 30, 46
Покровский О.М. 174
Полькин Вас.В. 117
Полькин В.В. 6, 117
Полюхов А.А. 164
Поляков А.В. 21, 28, 41, 42, 83, 91, 236
Пономарева Т.Я. 116
Попов А.А. 225
Постыляков О.В. 29
Потапова И.А. 86
Пригарин С.М. 100, 179
Прокушкин А.С. 19
Прохоров И.В. 103
Пустовалов К.Н. 192, 193
Пырикова С.И. 65
Пяткин Ф.В. 134
Радионов В.Ф. 117
Размолов А.А. 112, 128, 181
Ракитин В.С. 35, 57
Ракушина Е. 215
Репина И.А. 87
Решетник Л.А. 187
Рогозкин Д.Б. 98
Розанов С.Б. 232
Ролдугин А.В. 127
Рублев А.Н. 16, 19, 25, 49, 52
Руссак В. 161
Русков А.А. 107
Рыбаков Ю.В. 88
Рыскин В.Г. 234
Рышкевич Т.И. 85, 148, 154
Сакерин С.М. 6, 117
Салихов Н.М. 223
Самойлова С.В. 140
Самуленков Д.А. 61, 63, 144
Саноцкая Н.А. 86
Сапунов М.В. 61, 63, 144
Сафронов А.Н. 35
Сахарова Е.Ю. 134
Семенов А.И. 243, 252
Семутникова Е.Г. 141
Сивцева В.И. 210, 245
Силюк О.О. 55, 93
Синицын А.В. 183, 185
Синькевич А.А. 66, 73
Синявский И.И. 37
Ситнов С.А. 9, 24
Скороход А.И. 35, 57, 116
Скороходов А.В. 26
Слуцкер И. 93
Смирнов А. 93
Смирнов С.В. 193, 201
Смышляев С.П. 164, 236, 248
Соколов В.Т. 196
Соловьев В.И. 13
Соловьев В.С. 122
Соломонов С.В. 232
Солонин А.С. 61
Сосновский Ю.В. 171
Спорышев П.В. 173
Старцева З.П. 31, 47
Страхов П.В. 78
Стрелков С.А. 78, 123, 179

Сушкевич Т.А. 38, 78, 123, 179
Сущенко А.А. 105
Тагаев В.А. 63
Тарасенков М.В. 179
Тельминов А.Е. 192
Терез Г.А. 161
Терез Э.И. 161, 171
Терпугова С.А. 6, 117
Тимофеев Д.Н. 133
Тимофеев Ю.М. 10, 21, 28, 41, 42, 80, 83, 90, 91, 93, 236
Титов В.И. 87
Томшин О.А. 122
Торгунаков Р.Е. 66
Трофимова О.В. 189
Угольников О.С. 127
Усова Е.И. 177
Успенский А.Б. 13, 16, 19, 28, 49
Уустаре М. 161
Фалалеева В.А. 78, 157, 179
Федорова А.А. 37, 250
Федотова Е.А. 110, 111
Филей А.А. 25
Фирсов К.М. 112, 128, 181
Фока С. 82
Фомин Б.А. 78, 90, 168, 179
Фролова Е.А. 52
Фролькис В.А. 61
Хаматнурова М.Ю. 40
Харюткина Е.В. 177
Хлестова Ю.О. 164
Холбен Б.Н. 93
Хомич В.Ю. 252
Хохлова Ю.В. 100
Хужиахметов Э. 144
Чебыкин А.Г. 107
Ченцов А.В. 112, 128, 181
Черемисин А.А. 138
Черенкова Е.П. 137
Черкашин И.С. 16
Черненко А.Е. 113
Чернов Д.Г. 6, 117
Чернокульский А.В. 157
Чеснокова Т.Ю. 101, 112, 128, 181
Чечин Д.Г. 196
Чубарова Н.Е. 164, 187
Чуракова Е.Ю. 116
Шагидаев Р.Р. 68
Шаламянский А.М. 91
Шанина И.Н. 189
Швед Г.М. 208, 259
Шевченко В.П. 116, 117
Шевчук Н.О. 218
Шематович В.И. 256
Шиловцева О.А. 186
Шиховцев А.Ю. 209
Шишигин С.А. 115
Шишко В.А. 133
Шпенкух Д. 41
Шпренгер А.А. 68
Штабкин Ю.А. 35, 57
Щукин Г.Г. 67
Шурыгин Б.М. 78
Шухман Р.А. 46
Юшков В.А. 234
Юшков В.П. 194
Якименко И.В. 74
Якоби К. 208, 223
Янковский В.А. 261

AUTHORS INDEX

Abakumova G. 162
Abshaev A.M. 74
Aculinin A.A. 190
Ageyeva V.Yu. 255
Akperov M.G. 53
Alpert P. 145
Ammosov P.P. 210, 245, 246, 247
Ammosova A.M. 210, 245, 246, 247
Andreev A.B. 225
Andrianov A.F. 239
Anikin P.P. 150
Aniskina O.G. 216
Antokhin P.N. 226
Antokhina O.Yu. 226
Arabadzhian D.K. 81, 195
Artamonov A.Yu. 158
Artyushina A.V. 132
Asmus V. 14
Astafurov V.G. 27
Bakhanov V.V. 88
Bakhmetieva N.V. 239
Balin Yu.S. 140
Bass L.P. 95, 96, 108
Belikov Yu.E. 176, 258
Belov S.Yu. 200
Belov V.V. 180
Belova I.N. 200
Belyaev D.A. 251
Bertaux J.-L. 251
Bessarab F.S. 12, 220, 243
Biryukov E.Yu. 84
Boiko V.A. 43
Borchevkina O.P. 220
Borisova N.F. 196
Borodin O.O. 137
Borovoi A.G. 133
Borovski A.N. 30
Bovensman H. 17
Bubnova S.E. 117
Bubukin V.I. 71
Budak V.P. 98
Bunina N.A. 187
Buntov D.V. 147
Burov V.A. 176
Burrows J.P. 17
Busygin V.P. 114
Chebykin A.G. 108
Chen W. 229
Chentsov A.V. 113, 130, 182
Cheremisin A.A. 139
Cherenkova E.P. 137
Cherkashin I. 16
Chernenko A.E. 114
Chernokulsky A.V. 158
Chernov D.G. 8, 118
Chesnokova T.Yu. 102, 113, 130, 182
Chubarova N.Ye. 165, 188
Churakova E.Yu. 117
Datsenko O.I. 10, 145
Dembickaya M.A. 53
Demchev D.M. 51
Dergaus E.V. 43
Devyatova E.V. 226
Dlugach J.M. 128
Dmitriev E.V. 55
Dobrolenskiy Y.S. 38
Dobrynin M. 211
Dohler W. 40, 41
Domeisen D. 211
Dovgaluk Yu.A. 74
Drobzheva Ya.V. 207
Duchko A.N. 132
Dymnikov V.P. 214, 241
Dyshlevsky S.V. 258
Dzhola A.V. 24, 36, 58
Dzuban I.A. 38
Egorov V.D. 55
Elokhov A.S. 255
Emilenko A.S. 121, 150
Eremina I.D. 198
Ermakova T.S. 217
Ermolenko S.I. 208, 209
Evdokimova D.G. 251
Falaleeva V.A. 79, 158, 180
Farzaneh S. 252
Fedorova A.A. 38, 251
Fedotova E.A. 110, 111
Feofilov A.G. 77, 256
Filey A.A. 25
Firsov K.M. 113, 130, 182
Foka S. 72, 195
Fomin B.A. 79, 90, 168, 180
Fröhlich K. 211
Frolkis V.A. 62
Galin V.Ya. 165
Galkin A.A. 128
Garkusha A.S. 21
Gavrilov N.M. 204, 205, 219, 223, 225
Gavrilyeva G.A. 210, 245, 246, 247
Chechin D.G. 197
Golitsyn G.S. 6
Golobokova L.P. 118
Golovin Yu. 16, 50
Golubkov G.V. 243
Golubkov M.G. 243
Goncharenko L.P. 242
Gorbarenko E. 162, 164, 187
Gorchakov G.I. 10, 24, 142, 222
Gorchakova I.A. 10, 150
Gorodnichev E.E. 99
Gotur I.A. 68
Govorina I.A. 117
Govorkova V.A. 174

Grechko E.I. 58
Gribanov K.G. 20, 40
Gruzdev A.N. 255
Gushchin R.A. 10, 145
Gurchenkov D.A. 75
Gurvich A.S. 72
Gushchin G. 162
Harvey L.V. 242
Hase F. 85
Holben B.N. 93, 106
Huzhiahmetov E. 144
Ignatyev A.N. 233
Ilyin M.Yu. 62
Ilyushin Ya.A. 69, 136
Imasu R. 20
Imhasin Kh.Kh. 85, 91
Ionov D.V. 38, 58, 60, 80, 91
Ivangorodsky R.V. 18
Ivanov D.A. 56
Ivanov Y.S. 38
Ivanova O.A. 155
Ivanova N.S. 231
Jacobi Ch. 209, 211, 223
Janches D. 256
Jõeveer A. 162
Joghataei M. 252
Kabanov D.M. 118
Kabanov V.M. 8
Kadyshevich E.A. 109
Kalinina E.E. 239
Kalinnikov V.V. 91
Kallis A. 162
Kalogerakis K. 256
Kan V.A. 105
Kandieva K.K. 216
Karavaev D.M. 68
Karol I.L. 16
Karpov A.V. 10, 142, 145
Karpov I.V. 220, 243
Kartashova E.S. 152
Katkovsky L.V. 56, 65, 94
Kattai K. 162
Kattsov V.M. 174
Khamtnurova M.Yu. 40
Kharyutkina E.V. 178
Khlestova Y.O. 165
Khokhlova Yu.V. 101
Khomich V.Yu. 253
Kim A. 104
Kirner O. 236
Kirpanev N.A. 89
Kiselev A.A. 15
Kishcha P. 146
Klimenko M.V. 12
Klimenko V.V. 12
Kobzev A.A. 192
Kokhanenko G.P. 140
Kokhanovsky A. 106
Kolokutin G.E. 79, 90, 168
Kolomeets L.I. 249
Kolomiets S.F. 69
Koltovskoi I.I. 210, 245, 246, 247
Kondrik D. 31
Konoshenko V.P. 43
Konoshonkin A.V. 133
Kopeikin V.M. 117, 121
Korablev O.I. 38
Korenkov Yu.N. 12
Korkin S. 106
Korosov A.A. 35, 46
Kotonayeva N.G. 176
Kostornaya A.A. 135
Kostsov V.S. 80, 84, 91
Kostukov A.A. 157
Koval A.V. 219
Kovaldo P.G. 210
Kovalenko E.O. 105
Kovalevskaja O.I. 114
Kovtanyuk A.E. 104
Kozelov B.V. 128
Kozlov D.A. 16, 41, 50
Kozlov I.A. 16, 41, 50
Kozlov V.S. 8, 118
Kozlovsky A. 212
Kozoderov V.V. 55, 180
Krasilnikov A.A. 239
Krasnenko N.P. 152
Krasnokytskaya L.D. 124, 180
Krasnov V.M. 68, 207
Krivolapova O.Yu. 43
Kropotkina E.P. 233
Krovotyntsev V. 14
Kryakunova O.N. 224
Kshevetskii S.P. 204, 205
Kukharsky A.V. 16, 28, 50
Kukushkina A.E. 208
Kuleshov V.P. 23
Kuleshov Yu.V. 68, 207
Kulikov Yu.Yu. 235, 239
Kulyamin D.V. 12, 214, 241
Kurdyaeva Yu.A. 204
Kustova N.V. 133
Kutepov A.A. 256
Kuzmichev A.S. 79
Kuzmina I.Yu. 114
Kuzmina M.G. 96
Kuznetsov A.D. 62, 144
Kuznetzov G.A. 147
Kuzovlev A.I. 99
Lanskaya O.G. 192
Lapshin V.B. 176
Larar A. 13
Laulainen N. 162
Lemeshevsky S. 14
Lisitzin A.P. 118
Loginov S.V. 178
Luchinin A. 88
Luginin M.S. 251
Lukianova R. 212
Lukin A.N. 233
Lukin V.P. 210
Luk'yanov A.N. 231
Lyapustin A. 106
Mahotin M.S. 117
Mahotina I.A. 197

Makarenkov A.A. 30
Makarova M.V. 58, 81, 82, 85, 195
Makhotkin A.N. 154
Makhotkina E.L. 154
Makridenko L. 14
Maksakova S.V. 79, 124, 180
Makshtas A.P. 197
Malinina E. 17
Malov A.M. 196
Mamontov A. 72, 158
Manuilova R.O. 261
Margaryan V.G. 160
Marichev V.N. 139б 235
Marsh D. 256
Martinov A.O. 56, 65, 94
Maslov I.A. 128
Matveev Yu.L. 170
Medvedeva I.V. 244, 253
Melnik P.G. 55
Melnikova I.N. 62, 63, 143, 144
Memarian M.H. 252
Meshkov A.N. 68
Mikhailov E.F. 86, 149, 155, 157
Mikhailovsky Yu.P. 67, 74
Milekhin O. 14
Mingalev I.V. 110, 111
Mironov G.N. 86, 149
Mironova I.A. 248
Mironova D.E. 101
Mironova S.Yu. 86, 149
Mishchenko A.M. 75
Mitnik L.M. 23
Mitnik M.L. 23
Moiseev A.V. 46
Mokhov I.I. 24, 53, 150, 255
Monakhov D. 16
Montmessin F. 251
Morozov V.N. 193
Motsakov M.A. 236
Mushta A.V. 35, 51
Muzylev E.L. 33, 49
Nabatchikov A.S. 75
Nagorskiy P.M. 192, 193
Naidyonov E.V. 75
Nasrtdinov I.M. 8, 102, 132
Nebosko E.Yu. 155
Nechaev A.A. 69
Neiman L. 162
Nerushev A.F. 18
Nezval' Ye.I. 167
Nikiforova M.P. 231
Nikolaeva O.V. 95, 96, 107, 108
Nikolenko A.A. 79
Nikulin A. 16
Novigatsky A.N. 117
Novikov P.V. 139
Novikov S. 143
Oertel D. 40, 41
Ogibalov V.P. 260
Ohvril H. 162
Ohvril T. 162
Okulov O. 162
Orlov K.G. 110, 111
Osipov V.M. 196
Ostanin P.A. 241
Ostrovskii V.E. 109
Ozerov G.K. 243
Pak G.D. 224
Panchenko M.V. 8, 118
Panka P. 256
Pankratova N.V. 36, 58, 117, 154, 195
Paramonova N.N. 81, 82, 195
Pastukhova A.S. 165
Penner I.E. 140
Perminov V.I. 253
Petrov V.V. 90
Pettersson L. 31
Petrushin A.G. 126
Pilgaev S.V. 128
Plakhina I.N. 154
Poberovskii A.V. 36, 38, 43, 58, 60, 81, 82, 85, 91, 92, 93, 195, 235
Pogoreltsev A.I. 216, 217, 219, 225
Pokrovsky O.M. 175
Pol'kin V.V. 8, 118
Pol'kin Vas.V. 118
Poliukhov A.A. 165
Polyakov A.V. 21, 28, 41, 43, 83, 92, 236
Ponomareva T.Ya. 117
Popov A.A. 225
Postylyakov O.V. 30
Potapova I.A. 87
Pozdnyakov D. 31, 46
Prigarin S.M. 101, 180
Prokhorov I.V. 104
Pustovalov K.N. 192, 193
Pyatkin F.V. 135
Pyrikova S.I. 66
Radionov V.F. 118
Rakitin V.S. 36, 58
Rakushina E. 216
Ratovsky K.G. 12
Razmolov A.A. 113, 130, 182
Repina I.A. 88
Reshetnik L.A. 188
Revercomb H. 13
Rezac L. 256
Rogozkin D.B. 99
Roldugin A.V. 128
Rozanov A. 17
Rozanov E.V. 12
Rozanov V. 17
Rozanov S.B. 233
Rublev A.N. 16, 25, 50, 52
Russak V. 162
Russell III J. 256
Russkov A.A. 108
Rybakov Yu.V. 89
Ryshkevich T.I. 86, 149, 155
Ryskin V.G. 235

Safronov A.N. 36
Sakerin S.M. 8, 118
Sakharova E.Yu. 135
Salikhov N.M. 224
Samoilova S.V. 140
Samtleben N. 211
Samulenkov D.A. 62, 63, 144
Sanotskaya N.A. 87
Sapunov M. 62, 63, 144
Semenov A.I. 244, 253
Semoutnikova E.G. 142
Shagidaev R.R. 69
Shalamyansky A.M. 92
Shanina I. 190
Shchukin G.G. 68
Shematovich V.I. 257
Shevchenko V.P. 117, 118
Shevchuk N.N. 219
Shikhovtsev A.Yu. 210
Shilovtseva O.A. 187
Shishigin S.A. 115
Shishko V.A. 133
Shmargunov V.P. 118
Shtabkin Yu.A. 36, 58
Shuchman R. 46
Shurygin B.M. 79
Shved G.M. 208, 209, 260
Siliuk O.O. 56, 94
Silva A. 145
Sinitsyn A.V. 184, 186
Sinkevich A.A. 67, 74
Sinyuk A. 106
Sitnov S.A. 10, 24
Sivtseva V.I. 210, 245
Skorohod A.I. 36, 58, 117
Skorohodov A.V. 27
Slutsker I. 93
Smicov V.P. 190
Smirnov A. 93
Smirnov S.V. 193, 202
Smith W.L. 13
Smyshlyaev S.P. 165, 236, 229, 249
Sokolov V.T. 197
Solonin A.S. 62
Solomonov S.V. 233
Solovjev V. 14
Solovyev V.S. 123
Sosnovsky Yu.V. 172
Spankuch D. 40, 41
Sporyshev P.V. 174
Sprenger A.A. 69
Starobinets B. 145
Startseva Z.P. 33, 49
Strakhov P.V. 79
Strelkov S.A. 79, 124, 180
Sushchenko A.A. 105
Sushkevich T.A. 39, 79, 124, 180
Syniavskyi I.I. 38
Tagaev V.A. 63
Tarasenkov M.V. 180
Taylor J. 13
Telminov A.E. 192
Terez E.I. 162, 172
Terez G.A. 162
Terpugova S.A. 8, 118
Timofeev D.N. 133
Timofeev Yu.M. 11, 21, 28, 41, 43, 58, 81, 83, 91, 92, 93, 236
Titov V.I. 88
Tomshin O.A. 123
Torgunakov R.E. 67
Trofimova O. 190
Ugolnikov O.S. 128
Usova E.I. 178
Uspensky A.B. 14, 16, 28, 50
Uustare M. 162
Vardanian T.G. 160
Vargin P.N. 228, 231
Vasilenko E.V. 33
Vasilev A.V. 63
Vasileva A.V. 120
Vasilyev P.A. 220
Vei K. 216
Veremey N.E. 84
Vesman A.V. 35
Vinogradova A.A. 120
Virolainen Ya.A. 58, 91, 92, 236
Visheratin K.N. 18
Vlasenko S.S. 86, 149, 155
Volkov V.A. 51
Volkova E.V. 33, 44, 49
Volkova K.A. 58, 93
Volodin E.M. 214
Voloschenko A.M. 95
Vorobyev V.A. 77
Vorobiev V.V. 89
Voronina Yu.V. 113
Vorontsov A.M. 69
Vulfson A.N. 137
Vyakhirev V.D. 239
Wang G. 121
Wei K. 229
Weigel K. 17
Weisz E. 13
Wu L. 228
Xu L. 229
Yankovsky V.A. 261
Yakimenko I.V. 75
Yegorov A.D. 87
Yigit E. 256
Yudin V.A. 242
Yushkov V.A. 235
Yushkov V.P. 194
Yushkov V.P. 194
Zadvornykh V.A. 20, 190
Zaitsev A.A. 25
Zaitsev N.A. 80, 91
Zakharenkova I.E. 12
Zakharov V.I. 20, 40, 222
Zakhvatkina N.Y. 35
Zakhvatov M.G. 135
Zamorin I.S. 62
Zandian S. 252
Zavelevich F. 16, 50

Zenkova P.N. 118
Zhdanova E.Yu. 165, 188
Zheltyshev M.A. 60
Zhendarev M.V. 75
Zhuravleva T.B. 8, 102, 132
Zubov V.A. 237
Zuev S.V. 152
Zvyagintsev A.M. 231
Zysina N.Yu. 52