

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Сибирское отделение
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Российский фонд фундаментальных исследований

XXIII Рабочая группа



АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

Тезисы докладов

Томск
Издательство ИОА СО РАН
2016

УДК 551.508; 551.510; 551.521
ББК 32.86
А 932

Аэрозоли Сибири. XXIII Рабочая группа: Тезисы докладов. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2016. – 116 с.

Сборник включает тезисы докладов XXIII Рабочей группы «Аэрозоли Сибири». Обсуждаются результаты теоретических и экспериментальных исследований по следующим направлениям: оптические и микрофизические свойства аэрозоля; химия окружающей среды, аэрозольно-газовые связи, биота и ее влияние на атмосферные процессы; генерация, трансформация и сток аэрозоля; моделирование атмосферных процессов; аэрозоль и климат; антропогенный аэрозоль; методы и средства исследования аэрозоля.

Для специалистов в области физики и оптики атмосферы, экологии и исследования загрязнений.

Тезисы печатаются на основе электронных форм, представленных авторами, которые и несут ответственность за содержание и оформление текста.

Ответственный за выпуск О.В. Харченко

 Рабочая группа проводится при поддержке РФФИ (Грант № 16-05-20878-г).

ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОЗОЛЯ

ПЯТИЛЕТНИЙ ЦИКЛ ИЗМЕРЕНИЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ НА арх. ШПИЦБЕРГЕН

С.М. Сакерин¹, Д.М. Кабанов¹, В.Ф. Радионов²

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия*

Начиная с 2011 г. на территории Российского научного центра в п. Баренцбург (арх. Шпицберген), в течение полярного дня (апрель–сентябрь) ведутся ежегодные измерения аэрозольной оптической толщи (АОТ) в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм и общего влагосодержания атмосферы. Первые четыре года измерения проводились портативным солнечным фотометром SPM, а с 2015 г. автоматизированным фотометром SP-9.

В докладе обобщаются результаты пятилетнего цикла измерений спектральных АОТ, параметров Ангстрема, мелко- и грубодисперсной компонент АОТ. Приводятся статистические характеристики для трех сезонов арктического района: апрель–май (условно «весна»), июнь–июль («лето») и август–сентябрь («осень»). Показывается, что среднее значение АОТ (0,5 мкм) за весь период наблюдений составило 0,085 (наиболее вероятное значение – 0,065). Отдельно анализируется ситуация экстремального замутнения атмосферы 10.07.2015 г., обусловленного выносом дымов лесных пожаров на Аляске. АОТ в этот период почти в 10 раз превысило среднее за все время наблюдений.

Проводится сопоставление с многолетними результатами спутниковых (MODIS) наблюдений над Гренландским морем и на соседней станции AERONET (Hornsund). Отмечается тенденция уменьшения в последние годы амплитуды сезонной изменчивости АОТ атмосферы за счет меньших весенних значений мелкодисперсной компоненты.

ВАРИАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В ЭКСПЕДИЦИИ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»: АЭРОЗОЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ ТОЛЩА И ПРИЗЕМНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ

Ю.С. Турчинович, Д.М. Кабанов, В.В. Польшкин, С.М. Сакерин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Исследования аэрозоля над океаном свидетельствуют о существенном влиянии выносов воздушных масс с ближайших континентов. В частности, атмосфера над Индийским океаном обогащается пылевым, антропогенным и дымовым аэрозолем, поступающим со стороны Индостана и Аравийского полуострова. В докладе обсуждаются результаты измерений зимой 2015/2016 гг. аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы, концентраций аэрозоля и «сажи» в экспедиции НИС «Академик Николай Страхов» на маршруте Коломбо – Аравийское, Красное, Средиземное море – Атлантический океан – Ла-Манш – Калининград.

Анализ результатов показал, что значения большинства характеристик аэрозоля над Аравийским и Красным морями больше, чем в северной части маршрута – Средиземном море и Атлантике вблизи Европы. Вместе с тем, между морями Индийского бассейна есть различия: над Аравийским морем – максимальные счетные концентрации частиц (в среднем, 101 см^{-3}) и содержание «сажи» ($2,14 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$), над Красным морем – максимальные значения АОТ (0,26 в области 0,5 мкм) и особенно выделяется ее мелкодисперсная компонента (0,16) – в 6–10 раз больше, чем в северной части маршрута. Из сравнения со спутниковыми (MODIS/Aqua&Terra) данными следует, что корабельные измерения АОТ над Аравийским морем, в основном, были проведены на северной и южной периферии основного потока континентальных выносов. Поэтому средние значения АОТ оказались ниже, чем над Красным морем.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФАНО России и Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН, проект № IX.133-3.

О ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ВАРИАЦИЯХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В ПОДМОСКОВЬЕ В 2015–2016 гг.

П.П. Аникин, А.А. Исаков, Е.В. Ромашова, А.В. Тихонов

*Институт физики атмосферы РАН, г. Москва, Россия
a.a.isakov@mail.ru*

Приводятся результаты анализа измерения характеристик приземного субмикронного аэрозоля на Звенигородской научной станции. Данные получены с помощью поляризационного нефелометра ФАН. Вариации аэрозольных характеристик связаны, в основном, с переносом воздушных масс, поэтому характер этих вариаций отражает крупномасштабные движения в атмосфере. Во временной развертке величины массовой концентрации M отчетливо просматриваются квазипериодические изменения с периодами от одной до одиннадцати недель. На протяжении периода наблюдений 1991–2016 гг. вариации M продемонстрировали следующий характер поведения: с 1991 по 2005 г. характерный период был порядка 7 нед, в 2006 г. длительность скачкообразно изменилась на 11 нед и этот период сохранялся вплоть до 2012 г. Далее до 2015 г. период вариаций снова установился на величине 7 нед. В 2015 г. характер вариаций снова резко изменился. Скользящее среднее вариаций состояло уже из трех колебаний длительностью около 100 дней, первый и второй максимум разделял семинедельный «провал» концентрации. В 2016 г. снова режим вариаций изменился. Вплоть до августа скользящее среднее представлено пятью квазигармоническими колебаниями длительностью уже около 6 нед. Вариации параметра Ангстрема в течение всего периода 2015–2016 гг. содержали ярко выраженные 10-суточные колебания, упорядоченные же более долгопериодные вариации отсутствовали. Таким образом, характер вариаций массовой концентрации аэрозоля и движение воздушных масс в центральном регионе России претерпевает значительные скачкообразные изменения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 16-05-00985).

СОСТОЯНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ ЯКУТИИ ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНОГО ФОТОМЕТРА ЗА ПЕРИОД 2004–2014 гг.

М.С. Васильев, С.В. Николашкин, А.А. Решетников

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия
ms_vasiliev@ikfia.ysn.ru*

В данной работе, по аналогии [1], использована классификация прозрачности атмосферы на предмет состояния за период 2004–2014 гг. Исследование проводилось над центральной частью Якутии по данным наземных наблюдений аэрозольной оптической толщи (АОТ) на солнечном фотометре марки CIMEL CE-318.

Установлено, что ежегодно дни со значениями АОТ, относящимися к третьему классу прозрачности атмосферы («грязная» атмосфера), составляли в среднем 25–30% от общего числа дней измерения АОТ.

1. Ужегов В.Н., Пхагалов Ю.А., Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Грубодисперсный аэрозоль и его роль в формировании высоты однородной аэрозольной атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1023–1027.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГОДОВОГО ХОДА АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО И СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ ЯКУТИИ ЗА ПЕРИОД 2004–2014 гг.

М.С. Васильев, С.В. Николашкин, А.А. Решетников

*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия
ms_vasiliev@ikfia.ysn.ru*

Проведен анализ годового хода среднемесячных значений аэрозольной оптической толщи (АОТ) за период 2004–2014 гг. Были использованы данные наземного (CIMEL CE-318, уровень 2, $\lambda = 500$ нм) и спутникового (MODIS/Terra, Aqua, продукты обработки данных MOD08_M3 и MYD08_M3, третьего уровня, коллекции 6, $\lambda = 550$ нм) мониторинга [1]. Проведенный анализ показал, что значения АОТ, полученные наземным и спутниковым методами, находятся в пределах максимальной погрешности измерения на солнечном фотометре и со-

ставляют порядка $\pm 0,02$. Однако, использование данных MODIS над рассматриваемым регионом, в основном, обосновано лишь в бесснежный период, так как над снежной поверхностью имеют место наибольшие погрешности в определении АОТ [1, 2].

За рассматриваемый период по данным спектрорадиометра MODIS построены пространственно-временные карты распределения АОТ с широтно-долготным разрешением 1° .

1. Levy R.C., Mattoo S., Munchak L.A., Remer L.A., Sayer A.M., Patadia F., Hsu N.C. The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean // Atmos. Meas. Tech. 2013. N 6. P. 2989–3034.
2. Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М. Особенности пространственного распределения аэрозольной оптической толщи атмосферы в азиатской части России // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 484–490.

CLIMATOLOGY AND CHARACTERISTICS OF AEROSOL OPTICAL PROPERTIES IN THE ARCTIC

L. Schmeisser^{1,2*}, J. Backman³, E. Andrews^{1,2}, J. Ogren^{1,2}, E. Asmi³, S. Starkweather^{1,2}, M. Fiebig⁴, S. Sharma⁵, K. Eleftheriades⁶, T. Uttal², M. Bergin⁷, P. Tunved⁸, A. Jefferson^{1,2}

¹University of Colorado, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, Boulder, CO, USA

²National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Boulder, CO, USA

³Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

⁴Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway

⁵Environment and Climate Change Canada, Climate Research Division, Toronto, Canada

⁶Institute of Nuclear and Radiological Science & Technology, Energy & Safety, Attiki, Greece

⁷Duke University

⁸Stockholm University, Department of Environmental Science and Analytical Chemistry, Stockholm, Sweden

*Now at University of Washington, Department of Atmospheric Sciences, Seattle, WA, USA

John.A.Ogren@noaa.gov

Climate forcers like atmospheric aerosols are important contributors to the observed warming and environmental changes in the Arctic. Quantifying the aerosol forcing is especially difficult in the Arctic, given short aerosol lifetimes, annual variability in illumination and surface albedo, stratified atmospheric conditions, complex feedbacks, and long-range aerosol transport. Data from six WMO Global Atmosphere Watch stations are presented: Alert, Canada (ALT); Barrow, Alaska (BRW); Pallas, Finland (PAL); Summit, Greenland (SUM); Tiksi, Russia (TIK); and Zeppelin Mountain, Norway (ZEP). Climatologies of aerosol optical properties from each station show differences in magnitude and variability of observed parameters. For example, most stations (ALT, BRW, TIK, ZEP) experience maximum scattering in winter/spring, although SUM and PAL exhibit minimum scattering in the winter. The observed range in scattering across these sites is large, almost an order of magnitude. A closer look at systematic variability between optical properties at each station, as well as site back trajectories, suggest differences in aerosol processes, sources and transport. The development of consistent climatologies and additional analyses like the ones presented here can help provide a better understanding of trans-Arctic aerosol variability, which can be an asset for improving aerosol models in this remote region.

THE NOAA/ESRL GLOBAL FEDERATED AEROSOL NETWORK

P. Sheridan, J. Ogren

NOAA Earth System Research Laboratory, Boulder, USA

patrick.sheridan@noaa.gov

In order to estimate global aerosol radiative forcing and the effects of anthropogenic aerosols on the global climate, measurements of the aerosols are currently being made by the NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL) and its partners at monitoring locations around the world. Measurements in this network of monitoring stations are made using a standard set of sampling protocols, software, and data processing methods, resulting in aerosol measurements that are directly comparable with those at all the other network stations. Despite the many network stations and widely varying locations, many major surface regions remain undersampled. Some of the recent additions to this global

network have been located to better measure major regional aerosol types (e.g., Asian and Saharan desert dust, regional-scale pollution, biomass burning, etc.) in undersampled areas. Specific regions targeted for increased monitoring activity include the Arctic, which is commonly thought of as a bellwether of global climate change, and eastern Asia, which is a major source of natural and anthropogenic aerosols. This presentation gives an overview of the NOAA Federated Aerosol Network, and shows the variability and trends in a number of measured aerosol properties across the network.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В 66-м РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

Д.Г. Чернов¹, П.Н. Зенкова¹, А.П. Лисицин², В.П. Шевченко², М.В. Панченко¹,
С.М. Сакерин¹, В.С. Козлов¹, Д.М. Кабанов¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
chernov@iao.ru

В июле–августе 2016 г. выполнялись исследования характеристик прозрачности атмосферной толщи и аэрозоля в приводном слое на борту научно-исследовательского судна (НИС «Академик Мстислав Келдыш»). Маршрут начинался и заканчивался приходом судна в г. Архангельск, и проходил по районам: Белое и Баренцево моря, Карское море (южная акватория вблизи о. Новая Земля), заходы в Обскую губу и Енисейский залив с последующим возвратом судна на обратную траекторию.

Измерения аэрозольной оптической толщи в области спектра 0,34÷2,14 мкм и влагосодержания атмосферы проводились портативным солнечным фотометром SPM. Исследования характеристик аэрозоля в приводном слое атмосферы осуществлялись с помощью аэрозольного комплекса, состоящего из счетчика аэрозольных частиц АЗ-10 и измерителя массовой концентрации поглощающего вещества в частицах – аэталометра МДА.

Средние значения АОТ, показателя селективности и влагосодержания атмосферы за время экспедиции характеризовались малыми значениями: $\tau_{0,5}^a = 0,06$; $\alpha = 0,46$; $W = 1,48$ г/см². Средние значения концентраций аэрозоля и сажи составили: $N_A = (10,9 \pm 31,3)$ см⁻³ (с пределами изменения 0,069÷282,5); $M_A = (0,72 \pm 1,59)$ мкг · м⁻³ (0,004÷13,6); $M_{BC} = (0,105 \pm 0,264)$ мкг · м⁻³ (0,010÷2,25). В целом, полученные данные соответствуют уровню средних летних значений, характерных для арктической атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 14-50-00095 и Программы Президиума РАН №32 Поиск новых фундаментальных научных исследований в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации (проект «Комплексные исследования аэрозоля и сажи в атмосфере Российской Арктики»).

ГОДОВОЙ ХОД РАСПРЕДЕЛЕНИЯ САЖИ ПО РАЗМЕРАМ В СУБМИКРОННОМ ПРИЗЕМНОМ АЭРОЗОЛЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.С. Козлов, М.В. Панченко, Д.Г. Чернов, В.П. Шмаргунов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
vkozlov@iao.ru

Оценки радиационно-значимых характеристик атмосферного аэрозоля (альbedo однократного рассеяния и др.) нуждаются в знании годового хода распределения поглощающего вещества (сажа, Equivalent Black Carbon) по размерам в субмикронном аэрозоле и его динамики под воздействием геофизических факторов. В работе анализируются данные мониторинговых измерений распределения сажи по размерам в приземном аэрозоле, выполненных на Аэрозольной станции ИОА СО РАН (г. Томск, Академгородок) в 2014–2016 г.г.

Круглосуточные измерения распределения сажи по размерам частиц 10–1000 нм проводились с помощью спектрометра сажи, сочетающего селекцию частиц (8-канальная диффузионная батарея) и регистрацию ЕВС аэталометром МДА-02. В приближении одномодальной логнормальной функции анализировалась динамика среднесуточных и среднемесячных значений объемного медианного диаметра D_m , полуширины S и амплитуды A_m распределений сажи по размерам.

Установлено, что годовые ходы параметра D_m , характеризующего «крупнодисперсность» сажи, и амплитуды A_m содержат зимний максимум и летний минимум (т.е. «зимняя сажа» более крупнодисперсна, чем «летняя») с пределами вариаций $D_m = 240 \div 150$ нм и $A_m = 3,4 \div 0,4$ мкм³/см³. Годовой ход полуширины распределения

$S = 0,53 \pm 0,79$ менее устойчив. Измерения в 2016 г. показали, что дымы Сибирских лесных пожаров приводят к росту среднесуточных значений D_m (в июле от ~ 140 нм до 200 нм в максимуме задымления воздуха), т.е. в дымах крупнодисперсность сажи может достигать значений, характерных для зимы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (ФЦП, Соглашение № 14.604.21.0100 – уникальный идентификатор RFMTFI60414X0100).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПТИКО-МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН В 2011–2015 гг.

Д.Г. Чернов¹, В.С. Козлов¹, М.В. Панченко¹, В.Ф. Радионов², Л.П. Голобокова³, Т.В. Ходжер³

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

³Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

chernov@iao.ru

В Российском научном центре (РНЦШ) на арх. Шпицберген (п. Баренцбург – $78,1^\circ$ с.ш., $14,2^\circ$ в.д.) ИОА СО РАН и ААНИИ с 2011 г. (с апреля по сентябрь) проводят комплексные исследования микрофизических характеристик и химического состава аэрозоля.

Измерительная аппаратура содержит оптические счетчики частиц Grimm и АЗ-10 – для измерений распределения частиц по размерам, счетной (N_A) и массовой (M_A) концентраций аэрозоля; аэталометр МДА-02 – для измерения массовой концентрации поглощающего вещества (M_{BC}); аспиратор отбора проб на фильтры для последующего химического анализа.

В докладе рассмотрены статистические характеристики параметров аэрозоля за 5-летний период, анализируются особенности их суточной, сезонной и межгодовой изменчивости. Средние значения за весь период измерений составили: $M_A (d > 0,4) = 2,03 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$; $N_A (d > 0,4) = 1,77 \text{ см}^{-3}$; $M_{BC} = 0,17 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$. По результатам исследований ионного химического состава выявлен летний максимум концентраций ионов, их сумма в аэрозоле в 1,5 раза выше, чем в весенний и осенний периоды. Преобладающими среди главных ионов отмечены пары ионов с высокой степенью корреляции концентраций ($k > 0,9$): Na^+ , Cl^- и NH_4^+ , SO_4^{2-} . Для всех сезонов наблюдается обогащение аэрозольных частиц кальцием и калием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 32 (проект «Комплексные исследования аэрозоля и сажи в атмосфере Российской Арктики») и программы РАН № 0345 2015 0033 «Комплексные исследования различных геосистем Сибири в условиях меняющегося климата и техногенных воздействий».

СОВМЕСТНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ ПО ЛИДАРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

С.В. Самойлова, И.Э. Пеннер, Г.П. Коханенко, Ю.С. Балин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

ssv@seversk.tomsknet.ru

Представлен анализ микрофизических характеристик вертикального распределения аэрозоля по данным ночных лидарных измерений в 2013 г. Хотя на практике задачи восстановления самого показателя преломления $m = m_{real} + im_{image}$ и функции распределения частиц по размерам $V(r)$ решаются параллельно, следует отметить их принципиальное отличие: зависимость m от оптических коэффициентов (правая часть уравнений Фредгольма) и даже самой $V(r)$ (левая часть) не является линейной, что всегда приводит к недоопределенности m и появлению дополнительных, так называемых «паразитических» минимумов функционала невязки $\Phi(m)$. Значения $V(r)$ в ложных минимумах близки между собой, и сам m почти не влияет на точность оценивания функции распределения. В обратном направлении дополнительно рекомендуем отдельно минимизировать $\Phi(m)$ для коэффициентов ослабления σ_{aer} и обратного рассеяния β_{aer} : σ_{aer} связаны только с m_{real} , а β_{aer} , в большей степени, с m_{image} .

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДЫМОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ В РАЙОНЕ ТОМСКА

Д.М. Кабанов, С.М. Сакерин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Лесные пожары являются мощным источником аэрозольных эмиссий в фоновых районах Сибири, оказывая значительное влияние на радиационный баланс и качество воздуха на больших территориях. На основе результатов многолетних фотометрических наблюдений в районе Томске, в докладе рассматриваются особенности изменчивости дымовой компоненты аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм. Измерения спектральных АОТ проводились с помощью фотометров CE 318 (AERONET) и SP [1]. Для выделения дымовых ситуаций использовалась методика, основанная на спектральных свойствах, измеряемых АОТ атмосферы [2].

Анализируются вопросы: межгодовой изменчивости и сезонного хода дымовой компоненты АОТ в сравнении с обычными (фоновыми) условиями; статистика дымовой компоненты АОТ в различные месяцы теплого периода и особенности спектральных зависимостей; сопоставление характеристик АОТ в смоговых ситуациях летом 2012 и 2016 гг.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН, проект № IX.135-6.

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1112–1117.
2. Сакерин С.М., Веретенников В.В., Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Насртдинов И.М. Сравнительный анализ радиационных характеристик аэрозоля в ситуациях дыма лесных пожаров и обычных условиях // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 451–461.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ВИДИМОГО И ИК ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОМПОНЕНТЫ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В ЛОКАЛЬНОМ ОБЪЕМЕ

В.Н. Ужegov, В.С. Козлов, М.В. Панченко, Вас.В. Польшкин, В.В. Польшкин, Ю.А. Пхалагов,
С.А. Терпугова, Д.Г. Чернов, В.П. Шмаргунов, Е.П. Яшуева

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Проведено сопоставление спектральных коэффициентов (β_λ) аэрозольного ослабления (в диапазоне длин волн $\lambda = 0,55\text{--}3,9$ мкм), полученных из измерений спектрального пропускания атмосферы на горизонтальной протяженной трассе длиной 1 км с характеристиками светорассеяния, измеряемыми в локальном объеме. В локальном объеме измерения проводились в видимой области спектра с помощью трех независимых приборов: ореольного фотометра (коэффициенты рассеяния ($\beta_{\phi, SC}$) в диапазоне углов $\phi = 1,2\text{--}20^\circ$); активного спектрофелометра (зависимость коэффициента рассеяния под углом 45° от относительной влажности воздуха); аэталометра (коэффициенты поглощения аэрозольного вещества (M_{BC}) в диапазоне длин волн 0,4–0,7 мкм). Измерения оптических и метеорологических параметров проводились в чистой атмосфере и в условиях дыма удаленных лесных пожаров летом 2016 г.

Показано, что для дымовых ситуаций изменения величины β_λ в видимой области спектра в порядке убывания их роли связано с параметрами $\beta_{45, SC}$; $\beta_{1,2, SC}$ и M_{BC} . В ИК-области спектра значимая связь наблюдается только между величинами β_λ и $\beta_{1,2, SC}$.

Получена оценка альbedo однократного рассеяния, которая для плотных дымов в видимой области спектра составила величину 0,92–0,96, что хорошо согласуется с данными полученными в дымах 2012 г. В чистой атмосфере величина альbedo однократного рассеяния варьировала от 0,5 до 0,9. Определена связь альbedo однократного рассеяния с компонентами комплексного показателя преломления поглощающего аэрозоля.

СУТОЧНЫЙ ХОД ОРЕОЛЬНОЙ ЧАСТИ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ

Вас.В. Польшкин, В.В. Польшкин, М.В. Панченко

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
pv@iao.ru*

На основе экспериментальных данных за период 2010–2015 гг. проведен сравнительный анализ суточного хода для разных сезонов и оценки межгодовой изменчивости ореольной части индикатрисы рассеяния и распределения частиц по размерам.

Индикатрисы рассеяния получены с помощью автоматизированного ореольного фотометра закрытого типа, который находился в круглосуточном почасовом мониторинге коэффициента направленного рассеяния (КНР) для длины волны 650 нм в диапазоне углов рассеяния $\varphi = 1,2 \div 20^\circ$. На основе метода решения обратной задачи для КНР были определены распределения частиц по размерам.

Для анализа сезонной и суточной изменчивости свойств частиц грубодисперсного ($r > 1$ мкм) и субмикронного ($r < 1$ мкм) диапазонов были взяты значения индикатрисы при углах рассеяния $\varphi = 1,2$ и 20° . На основе результатов восстановления распределения частиц по размерам был проанализирован массив данных о счетной концентрации субмикронной N_f ($r = 0,01 \div 0,5$ мкм) и грубодисперсной N_c ($r = 0,5 \div 10$ мкм) фракций соответственно. Далее был проведен сравнительный анализ с данными, полученными с помощью фотоэлектрического счетчика на аэрозольной станции ЛОА ИОА СО РАН – в диапазонах размеров N_f ($0,2 \div 0,5$ мкм) и N_c ($0,5 \div 5$ мкм). В целом анализ позволил обоснованно выделить устойчивые характерные особенности суточного хода и его сезонной трансформации для рассматриваемых фракций.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта П.2П/IX.135-6 программы Президиума РАН.

ВЛИЯНИЕ ДЫМОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОПТИКО-МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБМИКРОННОГО АЭРОЗОЛЯ И САЖИ В ТОМСКОМ РЕГИОНЕ ЛЕТОМ 2016 г.

Е.П. Яшуева, В.С. Козлов, М.В. Панченко, В.П. Шмаргунов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
helen@iao.ru*

Проведен сравнительный анализ оптических и микрофизических характеристик приземного аэрозоля и поглощающего вещества (сажи) в задымленной атмосфере и в фоновых условиях.

В обсерватории «Фоновой» измеряются коэффициент углового аэрозольного рассеяния (нефелометр), из которого оценивается массовая концентрация субмикронного аэрозоля, и массовая концентрация сажи (аэталометр). Рассчитаны относительное содержание сажи в аэрозоле P , альbedo однократного рассеяния на длине волны 0,51 мкм (при значении удельного коэффициента аэрозольного поглощения $10,0 \text{ Мм}^{-1}/\text{мкг}/\text{м}^3$). По правилу однородной внутренней смеси непоглощающего вещества и сажи вычислены показатели преломления и поглощения сухой основы частиц.

В летне-осенних фоновых условиях средние значения концентраций аэрозоля и сажи близки к многолетним средним и составили 19 и $0,45 \text{ мкг}/\text{м}^3$, соответствующих величине $P = 0,03$. Средний комплексный показатель преломления частиц $m = 1,51 - i \cdot 0,02$, альbedo – 0,90. С июля по сентябрь 2016 г. пункт измерений подвергался сильному воздействию дымов лесных пожаров. Это привело к значительным вариациям всех характеристик. Возрастание средних концентраций аэрозоля и сажи до 120 и $1,26 \text{ мкг}/\text{м}^3$ сопровождалось сильным снижением $P = 0,014$ и $m = 1,50 - i \cdot 0,008$, с ростом альbedo до 0,96. Одновременные измерения рассматриваемых аэрозольных характеристик ведутся на Аэрозольной станции ИОА СО РАН в г. Томске.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта П.2П/IX.135-6 Программы Президиума и гранта РФФИ № 15-05-01983.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОЗОЛЯ И САЖИ В ПРИВОДНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В 67 РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ» (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

С.А. Терпугова¹, В.С. Козлов¹, В.В. Польшкин¹, В.П. Шмаргунов¹,
А.П. Лисицын², В.П. Шевченко², Н.В. Политова²

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, г. Москва, Россия

С 25 августа по 10 октября 2016 г. проходил 67-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» по маршруту Архангельск – устье Печоры – Центральная котловина – арх. Новая Земля – побережье Норвегии – арх. Шпицберген – арх. Земля Франца-Иосифа – Норвежское море – Балтийское море – Калининград. Основным районом работы судна являлось Баренцево море.

Одной из задач рейса являлось изучение пространственно-временной изменчивости счетной концентрации и функции распределения по размерам аэрозоля, массовой концентрации сажи в приводном слое атмосферы Баренцева моря.

Измерения выполнялись круглосуточно один раз в час по маршруту следования судна. По результатам измерений выполнено картирование концентрации аэрозоля и сажи в акватории Баренцева моря. Выделены области повышенного содержания аэрозоля (выход из Белого моря, Печорское море, районы, прилегающие к побережью Новой Земли). Наиболее чистыми являются западные и северо-западные районы Баренцева моря.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-27-00114.

ГИГРО- И ТЕРМООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЫМОВОЙ МГЛЫ В ТОМСКЕ В ИЮЛЕ 2016 г.

С.А. Терпугова, Вас.В. Польшкин, Е.П. Яшева

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

В период 17–31 июля 2016 г. в атмосфере г. Томска наблюдалось вторжение дымовой мглы от лесных пожаров в Красноярском крае. По результатам измерений на Аэрозольной станции ИОА СО РАН оценены термо- и гигрооптические параметры аэрозольных частиц (характеризующие динамику коэффициента рассеяния при искусственном увлажнении и нагреве исследуемой пробы воздуха). Проведено сравнение с аэрозольными характеристиками фоновой (незадымленной) атмосферы и дымов лесных пожаров, наблюдавшихся в регионе летом 2012 г.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № 15 «Природные катастрофы и адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ В ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ (2015–2016 гг.)

Д.М. Кабанов¹, Д.В. Калининская², А.А. Латушкин², С.М. Сакерин¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Россия

В 2006–2013 гг. в Севастополе проводились регулярные измерения характеристик аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы по программе AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) с использованием солнечного фотометра CE 318. В конце 2015 г. благодаря сотрудничеству ИОА СО РАН и МГИ РАН удалось возобновить наблюдения с помощью портативного фотометра SPM, работающего в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм [1]. В докладе обсуждаются результаты измерений АОТ в Севастополе, Кацивели и в экспедиции на НИС «Профессор Водяницкий». Проводится сопоставление средних АОТ, измеренных в Черноморском регионе в различные месяцы года с многолетними данными в Севастополе и в п. Орджоникидзе (июль 2015 г. [2]). Анализируются ситуации повышенных аэрозольных замутнений и влияние направления переносов воздушных масс на АОТ, включая мелко- и грубодисперсную компоненты.

Работа выполнялась при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН (проект № IX.133-3), гранта РФФИ № 16-35-00179 мол_a и темы госзадания № 0827-2014-0011.

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1112–1117.
2. Ужегов В.Н., Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Корчелкина Е.Н. Результаты измерений аэрозольной оптической толщи атмосферы в Восточном Крыму в июле 2015 г. // Аэрозоли Сибири. XXII Рабочая группа: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. С. 88.

ЛИДАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ МНОГОЧАСТОТНЫМ РАМАНОВСКИМ ЛИДАРОМ

К.А. Шмирко^{1,2}, А.Н. Павлов¹, С.Ю. Столярчук¹, А.А. Бобриков^{1,3}

¹Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

³Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия, kshmirko@dvo.ru

Рассматриваются результаты исследования атмосферы в переходной зоне материк - океан с помощью многочастотного рамановского лидара. Обсуждаются результаты восстановления оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля в условиях различной влажности.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ ПРИ ИХ ЗОНДИРОВАНИИ АЗИМУТАЛЬНО СКАНИРУЮЩИМ ЛИДАРОМ В ПРИБЛИЖЕНИИ ОДНОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

А.В. Коношонкин^{1,2}, Н.В. Кустова², В.А. Шишко^{1,2}, Д.Н. Тимофеев²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, sasha_tvo@iao.ru

Представлены результаты численного расчета лидарного сигнала при азимутальном сканировании монодисперсного перистого облака состоящего из ледяных гексагональных столбиков в приближении однократного рассеяния. Расчет проводился методом физической оптики [1]. Результаты расчетов показали, что лидар с азимутальным сканированием позволяет отчетливо диагностировать наличие азимутальной ориентации частиц в перистых облаках. Расчеты проводились для гексагональных ледяных частиц размерами от 10 до 1000 микрон для длин волн 0,355, 0,532 и 1,064 мкм. Был рассмотрен как случай вертикально ориентированного лидара, так и сканирующего лидара до углов наклона 90° при азимутальном повороте от 0 до 180°. Результаты собраны в банк данных матриц обратного рассеяния, в котором также содержатся лидарное, деполяризационное и спектральное отношения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №№ 16-38-60089, 15-05-06100), РНФ (соглашение № 14-27-00022) (в части расчета длины волны 0,532 мкм), гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ (НШ-8199.2016.5) и Минобрнауки РФ в рамках «Программы повышения конкурентоспособности ТГУ».

1. Konoshonkin A.V., Kustova N.V., Borovoi A.G., Grynko Y., Förstner J. Light scattering by ice crystals of cirrus clouds: Comparison of the physical optics methods // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2016. V. 182. P. 12–23.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МИКРОДИСПЕРСНОГО АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ И АРИДНОЙ ЗОНЫ МОНГОЛИИ (ПУСТЫНЯ ГОБИ)

И.П. Сунграпова, А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева, В.В. Цыдыпов

Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, kora141192@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований характеристик микродисперсного аэрозоля: суточной изменчивости общей счетной концентрации N (см⁻³) и спектров распределения частиц в диапазоне размеров от 3 до 200 нм в приземном слое атмосферы прибрежной территории озера Байкал и аридной зоны

Монголии (пустыня Гоби). Экспериментальные исследования дисперсного состава атмосферного аэрозоля проводились с помощью диффузионной батареи ДСА в период летних экспедиций 2012–2016 гг.

Проведен сравнительный анализ особенностей суточных вариаций микродисперсной фракции аэрозоля в атмосфере разных по природно-климатическим условиям регионах. В суточной динамике спектров размеров микродисперсного аэрозоля в период экспериментов наиболее выраженной является мода Айткена ($0,01 < d < 0,08$ мкм). В условиях аридной зоны, где основным источником атмосферного аэрозоля является почвенный аэрозоль, в спектрах распределения частиц модальный диаметр моды Айткена чаще всего смещается в сторону более крупных размеров. В отличие от сухого климата Монголии, в атмосфере прибрежной зоны озера Байкал в спектрах распределения выделяются и аэрозоли нанометрового диапазона размеров, основными источниками которого являются лесные пожары, антропогенные примеси и аэрозоли, имеющие органическое происхождение (пыльца растений, бактерии, микроорганизмы).

Установлено, что в условиях стабильной атмосферы общее содержание микродисперсной фракции аэрозоля в атмосфере пустыни Гоби, удаленной от антропогенных источников и источников морского аэрозоля, значительно ниже, по сравнению с общим содержанием мелкодисперсных частиц в атмосфере побережья оз. Байкал.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант РФФИ № 15-45-04027 р_сибирь_а).

РАСЧЕТ СИГНАЛОВ ЛИДАРА RAMSES И СЕЙЛОМЕТРА ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ЗОНДИРОВАНИИ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ

Н.В. Кустова, А.В. Коношонкин, А.Г. Боровой

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, kustova@iao.ru

Представлены результаты численного расчета сигналов сейлометра и лидара RAMSES при их совместном наблюдении перистых облаков в приближении однократного рассеяния. В работе проводился расчет оптических характеристик облаков, состоящих из ледяных кристаллов различной формы: идеальный гексагональный столбик и пластинка, деформированный гексагональный столбик, дроксталл и пуля [1]. Расчет проводился для вертикально ориентированного лидара, зондирующего на длине волны 0,355 мкм и для сейлометра, зондирующего на длине волны 1,064 мкм при двух углах наклона: 0 и 5°. Размер частиц варьировался от 10 до 1000 мкм с динамическим шагом по размеру. Рассматривался как случай хаотически ориентированных частиц, так и квазигоризонтально ориентированных частиц с эффективным углом наклона от 0 до 90°. Распределение частиц по размерам в облаке определялось одно- и двухмодальным законом распределения, при вариации модального размера частиц от 10 до 1000 мкм при сохранении $IWC = 1$ гр/см³.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №№ 16-38-60089, 15-05-06100), РФФ (соглашение №14-27-00022), гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ (НШ-8199.2016.5).

1. Mitchell D.L., Arnott W.P. A model predicting the evolution of ice particle size spectra and the radiative properties of cirrus clouds. Part II: Dependence of absorption and extinction on ice crystal morphology. // J. Atmos. Sci. 1994. V. 51. P. 817–832.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И НАД КАРСКИМ МОРЕМ ПО ДАННЫМ САМОЛЕТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В РАМКАХ КАМПАНИИ ЯК-АЭРОСИБ

Б.Д. Белан, Д.В. Симоненков, Г.Н. Толмачев

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, simon@iao.ru

Одним из регионов, в котором наиболее сильно проявляются глобальные климатические изменения, является Арктика. В то же время этот район наименее всего освещен данными о составе воздуха из-за отсутствия плотной сети станций и недостаточной точности спутниковых данных для надежных оценок. Наиболее точные данные о газовом и аэрозольном составе атмосферы в настоящее время дают самолетные измерения.

В рамках продолжения проекта ЯК-АЭРОСИБ 15–17 октября 2014 г. состоялось самолетное зондирование с использованием Ту-134 «Оптик» по маршруту Новосибирск – Салехард – Карское море – Салехард – Новосибирск на высотах от 500 м (200 м над морем) до 8500 м. Был произведен отбор 32 проб атмосферного аэрозоля

на фильтры типа АФА-ХП-20 для последующего количественного определения в лабораторных условиях основных неорганических компонентов – элементов и ионов: Si, Al, Fe, Mg, Ca, Ti, Cu, Mn, Pb, Cr, Zn, Ni, V, Ba, Mo, Zr, B, Cd, Co, K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- .

Анализ широтного и высотного распределений отмеченных компонентов аэрозоля за этот период показал тенденцию убывания концентраций практически всех компонентов в арктических широтах, в том числе над морем, по сравнению со среднесибирскими внутриконтинентальными широтами, а также значительное уменьшение концентраций неорганических компонентов с высотой.

Исследования проведены в рамках Международной Ассоциированной Лаборатории «МАЛ ЯК-АЭРОСИБ» при поддержке Национального центра научных исследований Франции и РФФИ (грант № 14-05-93108), а также при поддержке программ Президиума РАН № 15 и ОНЗ РАН, грантов РФФИ №№ 14-05-00526, 14-05-00590, Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ ХОД ПАРАМЕТРА КОНДЕНСАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СУБМИКРОННОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЯХ ФАКТОРА РОСТА ОТ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ

П.Н. Зенкова, М.В. Панченко, С.А. Терпугова

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Трансформация частиц атмосферного аэрозоля в поле переменной относительной влажности значительно изменяет их микрофизические и оптические свойства.

В работе для моделирования конденсационного роста частиц использован такой параметр, как фактор роста, представляющий собой отношение радиуса увлажненной частицы к ее радиусу при нулевом значении относительной влажности воздуха RH . Распределение частиц по размерам при $RH = 0$ задавалось в логнормальной форме. Функции распределения при нескольких значениях влажности в диапазоне 15–90% рассчитывались с использованием двух различных факторов роста: $\varepsilon(r) = \text{const.}$ и заданной функциональной зависимости $\varepsilon(r)$ с максимумом при $r = 0,2$ мкм. Показатели преломления и поглощения при изменении влажности воздуха определялись по правилу смеси в предположении, что объем частиц при увлажнении увеличивается только за счет конденсации паров воды. На основе расчетов проведен анализ трансформации спектра размеров, комплексного показателя преломления и коэффициентов рассеяния в видимой области спектра. Затем рассчитывалась зависимости коэффициента направленного рассеяния $\mu(45^\circ)$ от RH на нескольких длинах волн в видимой области спектра и определялся параметр конденсационной активности, который используется в наших экспериментальных работах для описания этого процесса. Проведено сравнение результатов расчетов с данными, полученными на Аэрозольной станции ИОА СО РАН.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-5381.2016.5 и Программы Президиума РАН № 15.

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ЗА ПЕРИОД С 2010 ПО 2015 гг.

К.А. Шмирко^{1,3}, А.А. Бобриков²

¹*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия*

²*Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия*

³*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*
rostok661@mail.ru

Работа посвящена изучению особенностей динамики аэрозольных характеристик в районе г. Владивосток, относящийся к переходной зоне «материк–океан», где аэрозольный фон формируется под воздействием источников различной природы. Измерения проводились на лидарной станции ИАПУ ДВО РАН с августа 2010 г. по декабрь 2015 г. Для получения микрофизических параметров использовался аппаратно программный комплекс, состоящий из нефелометра, азталеметра и счетчика частиц. Расчет оптических характеристик аэрозоля производился на основании результатов измерения фотометра SP9 (0,31–2,14 мкм).

Рассмотрены сезонные и межгодовые вариации аэрозольных характеристик, а также рассчитаны их типичные значения. Полученные результаты сопоставляются с данными метеорологических измерений, а также с результатами траекторного анализа HYSPLIT. Для аэрозольных параметров характерна явная сезонная зависимость, которая определяется перемещением воздушных масс. Если зимой для района измерения характерен сухой аэрозоль, приносимый из континентальной части России. То в теплое время года южные ветра приносят с собой морские частицы, а также антропогенный и пылевой аэрозоль из Китая.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, соглашение № 14-50-00034. Расчет статистической модели аэрозольных параметров выполнялся при финансовой поддержке российского фонда фундаментальных исследований, по соглашению № 26 16-35-00237\16.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ГРУБОДИСПЕРСНОГО АЭРОЗОЛЯ ИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА

В.В. Веретенников

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
vzv@iao.ru*

Представлены результаты применения регрессионного метода для оценки микроструктурных параметров частиц грубодисперсной фракции аэрозоля, таких как объемная концентрация V , геометрическое сечение S и средний радиус $\langle r \rangle$, на основе их статистических связей со спектральными измерениями аэрозольной оптической толщины (АОТ) $\tau(\lambda)$. Спектральные измерения АОТ являются малоинформативными относительно дисперсного состава аэрозольных частиц, размеры которых существенно превышают длины волн измерений. Это приводит к значительным ошибкам восстановления микроструктурных параметров грубодисперсного аэрозоля при обращении зависимостей АОТ в случае недостаточно широкого спектрального диапазона измерений. Для таких условий альтернативным способом получения информации о параметрах микроструктуры грубодисперсного аэрозоля может служить регрессионный метод, основанный на использовании статистических связей между искомыми параметрами и АОТ.

В докладе рассмотрены возможности такого подхода, установленные при обработке среднечасовых спектров АОТ, которые получены в широком спектральном диапазоне (до 4 мкм) по данным солнечной фотометрии в Томске на протяжении годового цикла измерений. Установлено, что коэффициент корреляции между объемной концентрацией частиц грубодисперсной фракции и АОТ $\tau(\lambda)$ увеличивается с ростом длины волны и при $\lambda = 2,203$ мкм становится больше 0,9 в течение всего периода наблюдений. Высокая корреляция также наблюдается между геометрическим сечением и $\tau(\lambda)$, достигая уровня 0,98–0,99 при $\lambda \geq 1,557$ мкм. Это позволяет использовать для оценки параметров V и S соответствующие уравнения линейной регрессии по $\tau(\lambda)$. Из отношения параметров V и S , восстановленных из уравнений регрессии, можно также определить средний радиус грубодисперсных частиц $\langle r \rangle$, не решая обратную задачу.

Автор благодарит С.М. Сакерина и Д.М. Кабанова за предоставленные для анализа экспериментальные данные.

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ И СОДЕРЖАНИЕ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИГОРОДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

М.А. Свириденков¹, Е.Ю. Небозько², Е.Ф. Михайлов²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

*²Санкт-Петербургский государственный университет, Россия
sviridenkov@ifaran.ru*

В течение последних лет в Ресурсном центре «Геомодель» Санкт-Петербургского государственного университета на фоновой станции городского типа, расположенной в пригородной зоне Санкт-Петербурга на расстоянии около 35 км от его центра, ведутся систематические измерения оптических параметров аэрозоля и массовой концентрации черного углерода (BC). Оптический мониторинг аэрозоля осуществляется с помощью интегрирующего нефелометра TSI 3563. Шесть измеряемых параметров (интегралы от коэффициентов направ-

ленного светорассеяния в диапазонах 7–170 и 90–70° на трех длинах волн) позволяют оценить коэффициенты рассеяния [1], средние косинусы индикатрисы рассеяния [2] и спектры размеров субмикронной фракции [1]. Измерения массовой концентрации ВС осуществляются на аэталометре АЕ51. Для уменьшения случайной ошибки и недопущения отрицательных значений концентрации сажи при обработке первичных данных применялась процедура, описанная в [3].

Проведенные измерения свидетельствуют о низких уровнях загрязнения атмосферы аэрозолями и его поглощающей излучение компонентой. В докладе приводятся и анализируются данные, полученные в 2015–2016 гг.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Проект №16-05-00985) с использованием оборудования Ресурсного центра «Геомодель» СПбГУ.

1. Свириденков М.А., Веричев К.С., Власенко С.С., Емиленко А.С., Михайлов Е.Ф., Небосько Е.Ю. Определение характеристик атмосферного аэрозоля по данным трехволнового интегрирующего нефелометра // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 3. С. 175–181.
2. Sviridenkov M.A. // European Aerosol Conference (EAC 2015), Milan 6–11 September 2015. Abstracts [USB flash drive]. 2AAP_P075.pdf
3. Hagler G.S.W., Yelverton T.L.B., Vedantham R., Hansen A.D.A., Turner J.R. // Aerosol Air Qual. Res. 2011. V. 11. P. 539–546.

АНАЛИЗ СИНХРОННЫХ ЗНАЧЕНИЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ (АОТ) АТМОСФЕРЫ ПО НАЗЕМНЫМ И СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Н.В. Панкратова, И.Н. Плахина

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
pankratova@ifaran.ru inna@ifaran.ru*

Проведен анализ синхронных рядов значений аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы по наземным и спутниковым данным на территории России: ряды среднемесячных и дневных значений АОТ за период 2004–2015 гг. В качестве наземных рассмотрены данные AERONET (AEROSOL ROBOTIC NETWORK) и данные актинометрических наблюдений (ГМС), в качестве спутниковых – данные MODIS (MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER). Рассмотрены 3 станции АЭРОНЕТ на АТР и данные спутниковых наблюдений МОДИС для 14 пунктов на ЕТР и 3 на АТР. Средние значения АОТ по всему периоду сравнения (число синхронных среднесуточных АОТ составило 500–700 точек) для MODIS, AERONET и ГМС близки как по диапазону вариаций, так и по величине средних величин (расхождения составляют проценты или десятки процентов). Ряды значений АОТ по AERONET, MODIS и ГМС наблюдениям имеют близкую относительную изменчивость АОТ (коэффициенты корреляции R^2 составляют 0,40–0,65) и практически совпадающие статистические параметры (максимальные и минимальные величины, стандартные отклонения, средние, медианные средние и процентиля разного порядка). Возможными причинами расхождений в АОТ по разным системам наблюдений являются масштабы пространственного и временного разрешения данных, облачные помехи (тонкие облака верхнего яруса) и адвективный перенос воздушной массы над точкой наблюдения.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-05-05803).

ХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, АЭРОЗОЛЬНО-ГАЗОВЫЕ СВЯЗИ, БИОТА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

ВАРИАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ В УСЛОВИЯХ БЛОКИРОВАНИЯ НАД ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИЕЙ РОССИИ ЛЕТОМ 2010 г. (ПО ДАННЫМ AIRS)

С.А. Ситнов, И.И. Мохов, А.В. Джола

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия, sitnov@ifaran.ru

На основе измерений содержания оксида углерода (CO) спутниковым ИК-зондировщиком AIRS исследуется пространственно-временная изменчивость CO в атмосфере над европейской территорией России (ЕТР) в условиях блокирования летом 2010 г. Данные измерений общего содержания CO AIRS сопоставляются с данными измерений CO в атмосферном столбе наземным спектрометром Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН.

Выявлены особенности эволюции поля CO, обусловленные региональной атмосферной динамикой при омега-блокировании над ЕТР в период интенсивных пожаров. При замкнутой антициклонической циркуляции в тропосфере над ЕТР отмечено вращение неоднородностей пространственного распределения CO. В частности, 5–9 августа 2010 г. область экстремально высокого содержания CO совершила полный антициклонический оборот вокруг Москвы, оставаясь на расстоянии 250–800 км от города. Анализ высотно-временной эволюции CO над ЕТР в период блокирования показал, что рост тропосферного содержания CO в период интенсивных пожаров на ЕТР летом 2010 г. сопровождался ростом CO в нижней стратосфере.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 15-05-07853_а.

1. Ситнов С.А., Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Горчакова И.А., Карпов А.В., Колесникова А.Б. Аэрокосмический мониторинг дымового аэрозоля на европейской части России в период массовых пожаров лесов и торфяников в июле–августе 2010 г. // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1062–1076.
2. Ситнов С.А., Мохов И.И., Джола А.В. / «Аэрозоли Сибири». XXII Рабочая группа: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2015. 19 с.

ГАЗОБМЕН МЕТАНА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ГРАНИЦЕ «ПОЧВА–АТМОСФЕРА» В ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСАХ ЮЖНОЙ И СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.В. Глаголев^{1,2,3,4}, Д.В. Ильясов¹, И.Е. Терентьева², А.Ф. Сабреков^{1,2}, О.А. Краснов⁵, Ш.Ш. Максютлов^{2,6}

¹*Институт лесоведения РАН, пос. Успенское, Московская обл., Россия*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

³*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия*

⁴*Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия*

⁵*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, krasnov@iao.ru*

⁶*National Institute for Environmental Studies, Japan*

Проведены измерения эмиссии/стока диоксида углерода метана в подзоне южной и средней тайги Западной Сибири в период с 16 по 24 августа 2015 г. Измерения осуществлялись методом статических камер в двух пунктах: в Бакчарском районе Томской области в условиях типичных экосистем для данного региона (на границе «олиготрофное болото–лес» и в заболоченных лесах), а также в заболоченном лесу около пос. Шашпа в Ханты-Мансийском автономном округе. Наибольшие значения удельных потоков (УД) метана зарегистриро-

ваны на участке горевшего березового леса избыточного увлажнения (медиана 6,96; нижний и верхний квартили равны 3,12 и 8,95 $\text{мгСН}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно). Наименьшие значения этих параметров (среди исследованных объектов) были отмечены в лесах периодического сезонного заболачивания (медиана, нижний и верхний квартили составили $-0,08$; $-0,14$ и $-0,03$ $\text{мгСН}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ соответственно). Полученные данные могут быть использованы для оценки региональных потоков метана из заболоченных лесов, а также их влияния на общий баланс парниковых газов в атмосфере.

Дыхание мохово-травяного яруса и почвы, т.е. эмиссия CO_2 при отсутствии фотосинтеза, изменялось от величин (174 ± 32) до (414 ± 142) $\text{мгС}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ на разных участках измерений. Отметим отрицательную корреляцию между скоростью эмиссии метана и эмиссией CO_2 . На точке с наибольшими средними удельными потоками СН_4 в $(6,96 \pm 0,7)$ $\text{мгС}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ эмиссия CO_2 была наименьшей – $(68,6 \pm 8,9)$ $\text{мгС}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. И наоборот, при минимальном УП СН_4 ($-0,08 \pm 0,06$) $\text{мгС}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ эмиссия CO_2 достигла наибольшего значения – (414 ± 142) $\text{мгС}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

ВАРИАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В ЭКСПЕДИЦИИ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Л.П. Голобокова¹, В.В. Польшкин², С.М. Сакерин², Ю.С. Турчинович², О.И. Хуриганова¹

¹Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, lg@lin.irk.ru

Обсуждается химический состав аэрозоля и концентрации газообразных примесей, отобранных по маршруту морской экспедиции от Коломбо до Калининграда, состоявшей зимой 2015/2016 гг. Сравнительный анализ результатов исследования проводился для четырех районов: над Аравийским, Красным, Средиземным морями и Атлантикой (вблизи Европы).

Наиболее высокие концентрации ионов в составе аэрозоля зарегистрированы над морями Индийского океана – в 1,5 раза больше, чем в северной части маршрута. Общим для всех районов является малый и практически одинаковый вклад ионов Mg^{2+} (2,1–2,7%) и K^+ (0,4–0,8%) в формирование химического состава аэрозоля. Максимальная доля ионов морского происхождения содержится в аэрозоле, отобранном над Атлантикой: Na^+ – 25%, Cl^- – 39,7%. Высокая доля ионов континентального происхождения зарегистрирована в аэрозоле над Красным и Средиземным морями: Ca^{2+} – 23,0 и 29,3%, SO_4^{2-} – 20,9 и 17,2%. Смешанное и достаточно сильное влияние различных источников обусловили высокую изменчивость концентраций ионов над Аравийским морем: Na^+ – 9,9–26,1%, Cl^- – 17,3–33,5%, Ca^{2+} – 14,8–27,2%, SO_4^{2-} – 12,1–27,3%.

Атмосфера над морями Индийского океана характеризуется также более высоким содержанием газообразных примесей SO_2 , HCl , NH_3 , HNO_3 по сравнению с северной частью маршрута. Наибольшее отличие отмечено для концентраций NH_3 и SO_2 . Максимальное содержание SO_2 , HCl и HNO_3 определено над Красным морем, NH_3 – над Аравийским морем.

Работа выполнялась при финансовой поддержке ФАНО России и Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН, проект № IX.133-3. Химический анализ выполнялся в ЦКП «Ультрамикроанализ».

МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Л.П. Голобокова, В.Л. Потемкин, Т.В. Ходжер, В.А. Оболкин, О.И. Хуриганова

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, lg@lin.irk.ru

Обсуждаются результаты многолетнего мониторинга (2000–2015 гг.) ионного состава аэрозоля и его газообразных предшественников на станциях мониторинга юга Восточной Сибири (Иркутск, Листвянка, Монды). По сравнению с ранними периодами наблюдений отмечено снижение концентраций суммы ионов в Иркутске на 16%, Листвянке > 60%, на фоновой станции Монды более > 50%. В Иркутске и Листвянке увеличились концентрации NH_3 и SO_2 . Прослеживается идентичность преобладающих компонентов в составе аэрозоля на станциях Листвянка и Иркутск – NH_4^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^- , в то время как в аэрозоле фоновой станции Монды в последние годы изменился приоритет в содержании главных ионов. Главными стали ионы SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , K^+ и Na^+ . Статистический анализ ионного состава позволил выделить для каждой из станций облака данных для холодного (октябрь–март) и теплого (апрель–сентябрь) сезонов. В 2011–2015 гг. отмечена возрастающая роль атмосферного канала в переносе веществ из Иркутска в Листвянку. Увеличилась взаимосвязь между концентрациями 40% пар ионов и газообразных примесей, из них для 16% взаимосвязь была высокой ($k > 0,70$).

В 2011–2015 гг. отмечен рост потоков азота в Иркутске и снижение в Листвянке и на станции Монды. Поступление серы в 2011–2015 гг. в Иркутске с газообразными примесями на порядок выше по сравнению с аэрозольным веществом, в Листвянке в 2 раза выросли потоки серы с аэрозольным веществом. В 2011–2015 гг. суммарное поступление серы на фоновой станции Монды было более, чем на порядок ниже, чем в Иркутске, и в 5 раз ниже, чем в Листвянке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания № 0345–2014–0007 (№ гос. рег. 01201353446) и частичной поддержке Международной программы ЕАНЕТ.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ CO_2 И CH_4 В ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДЕ ЛИТОРАЛИ СЕВЕРНОГО БАЙКАЛА В АВГУСТЕ 2016 Г.

Д.А. Пестунов¹, В.М. Домьшева², А.М. Шамрин¹, М.В. Сакирко², М.В. Панченко¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, pest@iao.ru

Многолетние исследования газообмена нами проводятся в одном наблюдательном пункте на Южном Байкале, и неизбежно возникает вопрос о применимости выводов и оценок для всей литоральной зоны озера. В период специальной экспедиции с 14 по 20 августа 2016 г. на НИС «И.Д. Папанин» была исследована литоральная зона северной котловины озера. Использовался мобильный измерительный комплекс, который осуществлял регистрацию парциального давления углекислого газа и метана, а также флуоресцентных характеристик в поверхностной воде непрерывно во время хода и стоянки судна на гидрологических станциях. Измерения потоков газа с помощью камеры проводились на отдельных станциях (мыс Лударь, Нижнеангарск, залив Фролиха, мыс Омагачан, губа Туркукит, р. Кабанья, Чивыркуйский залив, Ушканьи о-ва). Здесь же и на других станциях в районах устьев крупных рек брались пробы придонной и поверхностной воды для анализа содержания биогенных элементов и концентрации растворенного кислорода.

Отметим, что на протяжении всей береговой линии наблюдалось поглощение CO_2 водами озера, в то время как по всей трассе прохода давление метана в воде было выше атмосферного (выход CH_4). Наибольшие концентрации метана в воде отмечались вблизи устьев рек, а также в застойных заводях Чивыркуйского залива, где выход CH_4 с квадратного метра достигал 5 мг/ч.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-05-00277а) и Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН.

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУТОЧНОГО ХОДА ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПОТОКОВ CO_2 В СИСТЕМЕ «ВОДА–АТМОСФЕРА» ДЛЯ ПЕРИОДА ОТКРЫТОЙ ВОДЫ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ оз. БАЙКАЛ

Д.А. Пестунов¹, В.М. Домьшева², А.М. Шамрин¹, М.В. Сакирко², М.В. Панченко¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, pest@iao.ru

Представлена модель, основанная на результатах многолетних исследований процесса газообмена CO_2 (2004–2015 гг.) на Байкальской атмосферно-лимнологической обсерватории СО РАН (БАЛО, 51,9° с.ш. и 105,06° в.д.).

Ранее было показано, что для каждого из месяцев в период открытой воды (май–декабрь) в литоральной зоне Байкала на фоне сезонной изменчивости концентрации и потоков CO_2 проявляется суточный ритм. Очевидно, что одним из главных факторов, определяющих суточный ход содержания углекислого газа в воде Байкала являются процессы фотосинтеза и деструкции органического вещества, для которых в каждом пункте земной поверхности свойствен свой световой ритм (фотопериодизм). Отсюда, для восстановления в едином масштабе суточного хода в период открытой воды в качестве входного параметра выбрана величина продолжительности солнечного сияния. Переход от календарного времени к «солнечным координатам», проведен на основе теоретически возможной продолжительности солнечного сияния (от восхода до захода солнца при условии ясного неба и открытом горизонте www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/) для измеренного среднего суточного хода, отдельно для каждого месяца. Используя эмпирические коэффициенты нормировки и обратную процедуру перехода в шкалу гражданского времени для соответствующей даты и времени суток, можно с опре-

деленной точностью восстановить значение парциального давления и потоков CO₂ для разных пунктов наблюдений литоральной зоны Байкала.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-05-00277а) и Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ 15-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ В АЭРОЗОЛЕ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В пос. КЛЮЧИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.С. Сафатов¹, И.С. Андреева¹, Г.А. Буряк¹, В.А. Вечканов¹, И.Г. Воробьева¹, Е.Н. Горина¹, С.Е. Олькин¹,
О.А. Охлопкова¹, И.К. Резникова¹, Н.А. Соловьянова¹, Т.В. Теплякова¹, В.И. Макаров², С.А. Попова²

¹Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

²Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Начиная с 2001 г. ведется мониторинг биогенной компоненты проб атмосферного аэрозоля в пос. Ключи Новосибирской области. Фиксировалась масса биогенного материала по суммарному белку (в том числе его доля в полной массе аэрозоля), количество и разнообразие жизнеспособных микроорганизмов, органический/неорганический углерод в составе частиц. Все величины определялись по стандартным, неизменным за это время методам.

В ходе мониторинга выявлены долгосрочные тренды определяемых величин и их внутригодовые динамики. Показано, что, при двукратном росте среднегодовой массовой концентрации аэрозоля за 15 лет наблюдений, массовая концентрация суммарного белка в аэрозоле не проявляет тенденции к росту, а среднегодовая концентрация жизнеспособных микроорганизмов за это время уменьшилась почти в 20 раз. За время наблюдений концентрация органического углерода в атмосфере имеет тенденцию к росту, тогда как концентрация неорганического углерода – к падению.

В отличие от концентраций суммарного белка и жизнеспособных микроорганизмов, достигающих максимального значения в летний период (что совпадает с данными для еще одной наземной точки измерений и для высотных измерений), массовая концентрация аэрозоля в пос. Ключи максимальна в весенний период, тогда как для высотных измерений она максимальна в летне-осенний период. Концентрации органического и неорганического углерода также достигают максимума весной.

Работа выполнена при частичной поддержке междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН №№ 35-2012, 103-2003, 64-00 и проекта МНТЦ № 3275.

МИКРОМИЦЕТЫ В АЭРОЗОЛЯХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗБУДИТЕЛИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Т.В. Теплякова¹, И.Г. Воробьева^{1,2}, И.С. Андреева¹, Г.А. Буряк¹, А.С. Сафатов¹

¹Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

В настоящее время уровень антропогенного воздействия на окружающую среду способствует накоплению микроорганизмов, в частности, микроскопических грибов, способных вызывать заболевания человека. По воздействию на организм их условно можно разделить на две группы: потенциально патогенные и оппортунистические. И те, и другие могут длительно сохраняться и развиваться во внешней среде. Отличие состоит в том, что оппортунистические грибы, как правило, не вызывают заболевания здоровых организмов, но могут стать причиной болезни людей с ослабленным иммунитетом. Грибы – основные «поставщики» спор во внешнюю среду – находятся в воздухе изолированно или на частицах растительного и животного происхождения. Целью настоящей работы являлся мониторинг присутствия микромицетов в атмосфере юга Западной Сибири.

Проведенные исследования позволили установить динамику количественного и качественного состава потенциально опасных микромицетов в приземном слое и высотных пробах аэрозолей воздуха юга Западной Сибири. Обнаружено, что грибы в воздухе могут находиться в виде различных пропагул (конидий, спор, хламидоспор, гиф и др.). Всего были выделены грибы из более чем 20 родов, относящихся к трем подотделам (*Zygomycotina*, *Ascomycotina*, *Deuteromycotina*).

К микромицетам, способность которых вызывать заболевания человека известна, относятся виды родов *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Verticillium*, среди дрожжей потенциально наиболее опасными являются виды рода *Candida*, *Rhodotorula*, *Sporidiobolus*, *Cryptococcus*, *Bullera*. Многие из них обнаружены в изученных пробах воздуха.

ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЧЕСКИХ КАМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Е.А. Дюкарев

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия,
egor@imces.ru*

Представлена математическая модель для разделения суммарного потока CO₂, измеряемого автоматической прозрачной камерой на его составляющие, включая фотосинтез растений, автотрофное и гетеротрофное дыхание. Модель использует данные о температуре воздуха, фотосинтетически активной радиации, дефиците влажности воздуха и индексе листовой поверхности в качестве факторов, регулирующих потоки суммарной ассимиляции углекислого газа растениями и экосистемного дыхания. Для калибровки модели использованы данные натурных наблюдений за потоками CO₂ в травяной экосистеме, полученные с использованием прозрачной автоматической камеры.

Согласно модельным оценкам суммарное за вегетационный период дыхание растений и почвы составляет 665,2 и 536,3 гС · м⁻² соответственно. Валовая первичная продукция растительности составляет 1042,6 гС · м⁻², что меньше общего экосистемного дыхания. Исследованная травяная экосистема является источником углерода для атмосферы в течение вегетационного периода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №№ 16-07-01205, 16-45-700562) и Программы РАН VIII.77.1.

ГЕНОМНЫЙ И ФЕНОТИПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПИХРОТОЛЕРАНТНЫХ ДРОЖЖЕЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ АЭРОЗОЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

И.С. Андреева¹, А.С. Сафатов¹, В.В. Морозова², Н.В. Тикунова², И.В. Бабкин²,
Г.А. Буряк¹, Е.К. Емельянова¹, Е.Н. Горина¹

¹*Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия*

²*Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Атмосферные биоаэрозоли, имеющие в своем составе споры растений, грибы, бактерии, вирусы, белковые макромолекулы, продукты жизнедеятельности микроорганизмов, частицы с остатками распадающихся живых организмов, способны вызывать или провоцировать аллергические и инфекционные заболевания, оказывая значительное влияние на состояние окружающей среды и здоровье населения.

В результате микробиологического исследования наземных и высотных проб атмосферного воздуха юга Западной Сибири, получены данные, включающие численность и состав выделяемых бактерий, дрожжей и грибов. Особое внимание уделено психротолерантным дрожжам, обнаруживаемым в аэрозолях атмосферного воздуха на разных высотах в разное время года. Выявлены жизнеспособные дрожжеподобные изоляты, отнесенные по совокупности фенотипических и геномных признаков к родам *Bullera*, *Sporidiobolus*, *Aerobasidium*, *Cryptococcus*, *Sporobolomyces*, *Rhodotorula*, *Candida*, *Entyloma* и ряду других, отдельные виды которых относятся к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам, представляющих опасность для человека.

Распределение штаммов по филогенетическим группам коррелировало с выявленными фенотипическими признаками соответствующего рода, в то время как, степень сходства с родственными видами, наблюдаемая при построении филогенетического дерева, не всегда подтверждалась при исследовании фенотипических признаков штаммов, что требует дополнительных исследований для более точной идентификации выделенных штаммов. В качестве возможных патогенных и аллергенных агентов в атмосферных аэрозолях выявлены также плесневые грибы родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Fusarium* и *Aspergillus* с концентрацией от < 1 до 5 · 10³ кл/мл пробы и актиномицеты, обладающие гемолитической активностью.

ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКОВ МЕТАНА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЭКОСИСТЕМЕ БАКЧАРСКОГО БОЛОТА

Д.К. Давыдов¹, О.А. Краснов¹, А.В. Фофонов¹, Ш.Ш. Максютов^{2,6}, М.В. Глаголев^{3,4,5,6}, А.Ф. Сабреков^{4,6}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

⁴Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

⁵Институт лесоведения РАН, пос. Успенское, Московская обл., Россия

⁶Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, alenfo@iao.ru

Приводятся данные полевых измерений потоков метана и диоксида углерода на границе раздела почва–атмосфера для характерных видов растительных ассоциаций на двух болотных сайтах в районе с. Плотниково Бакчарского района Томской области в теплое время года. Исследования в этом направлении важны для изучения изменений климата, оценки глобального бюджета углерода и уменьшения неопределенностей при построении математических моделей процессов, протекающих в биосфере Земли.

Одним из способов изучения потоков CO₂ и CH₄ из почвы, является метод статических камер. Круглосуточные наблюдения проводились при помощи автоматических измерительных комплексов FluxNIES [1] с мая по октябрь в 2014–2016 гг. В докладе рассматриваются особенности измерений и обработки данных газовых потоков, полученных с использованием статических камер (в том числе одной плавающей в болотном озере); сравниваются результаты мониторинга трех полевых сезонов; приводятся установленные взаимосвязи флуктуаций потоков CO₂ и CH₄ за счет изменений в условиях освещенности, температуры воздуха и почвы, увлажненности подстилающей поверхности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00590). Обеспечение полевых работ осуществлялось при участии Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

1. Краснов О.А., Maksyutov S., Глаголев М.В., Катаев М.Ю., Inoue G., Надеев А.И., Шелевой В.Д. Автоматизированный комплекс «Flux-NIES» для измерения потоков метана и диоксида углерода // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 12. С. 1090–1097.

ВЛИЯНИЕ ХЛОРОФИЛЛА, ЧАСТИЦ ВЗВЕСИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА СУТОЧНЫЙ ХОД СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ В ПРЕСНОВОДНОМ ВОДОЕМЕ

И.А. Суторихин, О.Б. Акулова, В.И. Букатый, О.М. Фроленков,
И.М. Фроленков, М.Е. Литвих

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

sia@iwep.ru, akulova8282@mail.ru, v.bukatyi@mail.ru, frolencov@mail.ru, litvihmaksim@mail.ru

Экологическое состояние, охрана и рациональное использование водных ресурсов, в частности, пресноводных озер – общемировая проблема, которая будет обостряться в условиях всевозрастающего антропогенного воздействия. Естественные или природные озера содержат значительный запас доступной воды, состав и структура которой меняется как от года к году (долгопериодные или межгодовые колебания), так и в течение года (годовые или сезонные колебания) и суток (суточные колебания).

Летом 2016 г. (18–19 июля) на оз. Красиловское (Косихинский район Алтайского края) был проведен четвертый суточный эксперимент. В период наблюдений было проведено 1176 измерений спектральной прозрачности воды, обработано озерных проб 91 шт., из них 35 проб – только для определения концентрации хлорофилла «а». Также было обработано 10 микрофотографий с общим количеством частиц 331 шт. Рассчитан спектральный вклад компонентов озерной воды в показатель ослабления света на каждой глубине озера (максимальная глубина – 6 м).

В результате наблюдений получены данные по изменению спектрального показателя ослабления света $\epsilon(\lambda)$, температуры воды T и концентрации хлорофилла $Chl_{«а»}$, в течение суток на разных глубинах. Исследования показали, что значительные вертикальные изменения наблюдались для $Chl_{«а»}$, значения которого варьировали в пределах 15,2–180,9 мг/м³, для температуры – 10,0–26,5 °С при этом среднее значение $\epsilon(\lambda)$ составило 6,0 м⁻¹. Проведен расчет спектральных вкладов компонентов воды в суммарный показатель ослабления света, который

показал, что наибольшее влияние на суточный ход спектральной прозрачности оказывают частицы взвеси, желтое вещество и хлорофилл. Максимальный спектральный вклад хлорофилла зафиксирован на глубинах 3 и 4 м и составил 61,3 и 45,7% соответственно. Средневзвешенный радиус частиц взвеси составил 1,2 мкм, а среднее значение счетной концентрации равно $1,9 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$.

АНАЛИЗ СВЯЗИ ДИНАМИКИ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА И ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО СИГНАЛА В РАЗЛИЧНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ МЕТОДОМ «ГУСЕНИЦА»

С.Л. Бондаренко, В.В. Зуев, А.В. Павлинский

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
bondarenko@imces.ru*

Влияние атмосферного озона, изменений УФ–В на состояние растительности в динамике с погодными и климатическими изменениями сложно оценить без разделения дендрохронологического сигнала на составляющие. Индикатор изменений озона, показатель чувствительности хвойных деревьев к УФ–В рассматривался по данным максимальной плотности годичных колец хвойных деревьев (ПГК), 150 рядов ели, пихты и кедра Швейцарских и 150 рядов лиственницы Французских Альп, впоследствии представленных обобщенными хронологиями ПГК: 1) хронология периода с трендами изменений ОСО и климатических параметров (температура, осадки, индекс Де Мартонне), близкими к нулю (1932–1974 гг., Швейцария); 2) хронология периода с резким снижением ОСО на фоне роста температуры воздуха в условиях аэрозольных нагрузок (1974–2007 гг., Франция).

Методом «Гусеница» были выявлены периодичности аддитивных компонент хронологий. Для 1932–1974 гг. корреляция между ОСО и температурой слабая $R = -0,32$; для 1974–2007 гг. корреляция – средняя $R = -0,58$. По анализу первой хронологии изменения климата усиливали эффекты воздействия УФ–В и вызвали увеличение амплитуды колебаний ПГК. При составлении второй хронологии обнаружено, что растущий дефицит влаги привел к уменьшению численности хвойных деревьев, чувствительных к воздействию УФ–В, но возросла степень корреляции ОСО и ПГК, поскольку доза УФ–В-радиации была значительно выше. По приведенным методике и оценкам возможна корректировка амплитуды уже реконструированных значений ОСО для любой территории, в том числе для Сибири и Арктики.

Работа выполнена при поддержке программы РАН (проект VIII.77.1.2).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ CO_2 И CH_4 В ПРИВОДНОЙ АТМОСФЕРЕ И ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДЕ ПО АКВАТОРИИ ОЗЕРА БАЙКАЛ В МАЕ–ИЮНЕ 2016 г.

А.М. Шамрин¹, Д.А. Пестунов¹, М.В. Панченко¹, В.Г. Иванов², М.В. Сакирко², В.М. Домышева²

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия
shamrin.ar@yandex.ru*

Измерения концентрации углекислого газа и метана в поверхностной воде и приводной атмосфере по всей акватории оз. Байкал было проведено в комплексной экспедиции на НИС «Г.Ю. Верещагин» с 25 мая по 6 июня 2016 г. Исходя из основной задачи наших исследований, основное внимание было уделено изучению пространственного распределения потоков CO_2 и CH_4 . Для описания направления потоков использовались значения разности парциальных давлений определяемого газа между водой и атмосферой. В период измерений в пелагиальной зоне от южной оконечности Байкала до центра разреза Листвянка–Танхой давление CO_2 в воде было ниже атмосферного (сток углекислого газа). Далее по всей трассе прохода судна, до разреза «Болдаково – Ольхонские ворота» постоянно регистрировался выход CO_2 в атмосферу (за исключением района устья р. Селенги), а затем до северной оконечности озера был характерен сток углекислого газа в воду. В отличие от углекислого газа, по всей акватории оз. Байкал парциальное давление метана в поверхностной воде превышало атмосферное (средние значения давления в пелагиали около 3 мкاتم). При подходе к прибрежной зоне давление CH_4 в воде существенно возрастало до 15–52 мкاتم. Следовательно, вся поверхность озера в этот период являлась источником CH_4 .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-05-00277а) и Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН (проект П.2П/IX.135-5).

РАЗМЕРНЫЙ СОСТАВ И СЧЕТНАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ ОЗЕР АЛТАЙСКОГО КРАЯ

И.А. Суторихин¹, В.И. Букатый¹, М.Е. Литвих¹, К.Ю. Эккердт²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

²Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

sia@iwep.ru, v.bukaty@mail.ru, litvihmaksim@mail.ru, ekkerdt@mail.ru

Взвешенное вещество (сестон) входит практически во все существующие в настоящее время классификации качества вод, так как является одним из основных элементов в круговороте вещества и энергии в природных водоемах. Изучение размерного состава и концентрации взвешенного вещества, определенно является приоритетным и актуальным направлением также в гидрооптических исследованиях с целью экологической оценки водных объектов.

Измерены микрофизические характеристики взвешенного вещества трех разнотипных озер Алтайского края – Лапа, Красиловское и Большое Островное за период 2015–2016 гг. Было обработано 19 проб озерной воды, получено 348 микрофотографий с общим количеством частиц 12155 шт., что обеспечивало хорошую статистику и свидетельствовало о высокой достоверности полученных результатов.

По данным измерений методом оптической микроскопии размеры частиц в пробах воды с озер находились преимущественно в пределах 0,5–10 мкм по радиусу. При этом коэффициент детерминации находился в диапазоне от 0,74 до 0,99, что говорит об удовлетворительной аппроксимации. В результате получено, что средневзвешенный радиус частиц в поверхностном слое оз. Лапа за исследуемый период составил 0,9 мкм, в озерах Красиловское и Большое Островное – 1,1 и 1,2 мкм соответственно. Среднее значение счетной концентрации частиц взвеси в исследуемых озерах за период наблюдений изменялось в пределах от $0,9 \cdot 10^6$ до $3,6 \cdot 10^6$ см⁻³ и составило порядка $1,7 \cdot 10^6$ см⁻³ для оз. Лапа, $2,0 \cdot 10^6$ см⁻³ для оз. Красиловское и $2,8 \cdot 10^6$ см⁻³ для оз. Большое Островное. Результаты измерений размерного состава взвешенного вещества исследуемых трех разнотипных озер Алтайского края показали, что экспериментальное распределение частиц по размерам можно аппроксимировать функцией типа Юнге, а показатель экспоненты изменялся от 1 до 2.

ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЛОКАЛЬНОГО ИСТОЩЕНИЯ ОЗОнового СЛОЯ ВБЛИЗИ ЭПИЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Е.М. Короткова¹, В.В. Зуев^{1,2}, А.В. Павлинский¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
katia_sova@mail.ru

Сейсмоактивные зоны всегда связаны с потенциальной опасностью внезапного возникновения землетрясения, что создает постоянную угрозу среды обитания человека на этих территориях. Но оказалось, что землетрясения также являются мощным фактором, оказывающим отрицательное влияние с точки зрения геоэкологии на атмосферные и биосферные процессы. В частности, это связано с истощением озонового слоя и соответствующим увеличением нагрузки на биологические объекты солнечной УФ–В-радиации. В настоящее время данные о наличии связи между сейсмической активностью Земли и состоянием озоносферы имеются, однако характер этой связи остается неоднозначным, а механизмы неясными. Так, при анализе состояния озоносферы над территорией Западной и Восточной Сибири нами было выявлено локальное уменьшение ОСО вблизи эпицентров землетрясений, проявляющееся в месячном масштабе. При более детальном рассмотрении над эпицентрами были обнаружены резкие спады уровня ОСО с последующими подъемами, происходящие за несколько дней до, после или во время землетрясения. На основе ежедневных данных об ОСО была исследована суточная динамика возникновения и исчезновения рассматриваемых озоновых аномалий. В работе обсуждаются возможные механизмы воздействия землетрясений на озоновый слой, связанные с эмиссией в стратосферу эндогенных газов, возникновением высоких циклонов, внутренних и акусто-гравитационных волн, способных вызвать разрушение или перераспределение озона. Таким образом, в областях сейсмической активности при истощении озонового слоя появляется дополнительный фактор риска для биологических объектов – повышенный приход солнечной УФ–В-радиации.

ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ОЗОНА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ФОНОВОГО РАЙОНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

П.Н. Антохин¹, А.В. Пененко^{2,3}, А.А. Гришина^{2,3}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Новосибирский государственный университет, Россия, arp@iao.ru

Было проведено восстановление вертикального распределения мощности источника озона в пограничном слое с использованием данных самолетного зондирования и оптимизационного метода решения обратной задачи о поиске источников в двухмерной (высота–время) модели «конвекции–диффузии–реакции». Расчеты проводились для летней измерительной кампании выполненной 8 августа 2013 г. Измерения концентрации озона были проведены в фоновом районе Томской области, около пос. Березаречка над постом мониторинга парниковых газов. Необходимые метеорологические поля данных для работы модели были получены с использованием диагностических расчетов выполненных по модели WRF-AWR v.3.5.1. с использованием данных реанализа ERA-Interim с разрешением 0,5°.

Проведенные расчеты свидетельствуют в пользу того, что вертикальное распределение мощности источника в слое 0 до 3000 м неравномерно. В дневное время в антициклонических условиях максимум мощности наблюдается в диапазоне высот 300–600 м. Выше пограничного слоя мощность источника озона не имеет значительных вариаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов МК-8214.2016.1, РФФИ №№ 14-01-00125; 14-05-00526; 14-05-00590.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ГОРОДСКОЙ АТМОСФЕРЫ В ЛЕТНИЙ СЕЗОН 2016 г.

Г.И. Горчаков¹, Е.Г. Семутникова², А.В. Карпов¹, Е.А. Лезина³, К.В. Родина²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

³Мосэкомониторинг, г. Москва, Россия, gengor@ifaran.ru

Летом 2016 г. в г. Москве в приземном слое атмосферы наблюдались случаи повышенного загрязнения городской атмосферы. Максимальное загрязнение в период с 24 по 27 июля 2016 г. было обусловлено дальним переносом дыма. Для этого периода проанализированы вариации газовых компонент загрязнения в пограничном слое атмосферы по данным измерений на телебашне Останкино. В задымленном пограничном слое зарегистрированы повышенные концентрации угарного газа и углеводов.

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

СОДЕРЖАНИЕ ПЫЛЬЦЕВОЙ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРНОГО БИОАЭРОЗОЛЯ В ЗИМНИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ г. БАРНАУЛА

Н.С. Малыгина¹, Н.А. Рябчинская², Е.Ю. Митрофанова¹, Г.И. Ненашева²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

²Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

На территории Западной Сибири наблюдения за биологическими аэрозолями, в частности за пыльцевыми зернами, циркулирующими в воздушном пространстве, в последнее время стали проводить систематически [1, 2], и с учетом того что 80% аэрозолей вымываются из атмосферы/тропосферы с атмосферными осадками [3]. В начале двух зимних сезонов 2014/2015 и 2015/2016 гг. (для данного региона зимним сезоном считается промежуток времени с ноября по март) были установлены цилиндрические пробоотборники для твердых атмосферных осадков. Всего была отобрана и проанализирована 61 проба, только в 23% которых были выявлены пыльцевые зерна березы (*Betula sp.*), ивы (*Salix sp.*), сосны (*Pinus sp.*), тополя (*Populus sp.*), полыни (*Artemisia sp.*) и представителей семейства маревых (*Chenopodiaceae*). Для идентификации источников поступления пыльце-

вых зерен был проведен анализ обратных траекторий движения воздушных масс на даты выпадения атмосферных осадков, а также проанализированы ареалы распространения выявленных таксонов и календари их пыления.

Согласно проведенному анализу, можно сделать вывод, что обнаруженные пыльцевые зерна имели адвективный характер и на юг Западной Сибири (г. Барнаул) были занесены преимущественно с Европейско-Скандинавского и Арало-Каспийского региона, а также со Среднеевропейской равнины.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ № 16-35-00188 мол_а и государственного задания по проекту «VIII.77.1.5. Климатические и экологические изменения в Сибири по данным гляциохимического, диатомового и споро-пыльцевого анализа ледниковых кернов» (№ 0383-2014-00052013).

1. Safatov A.S., Buryak G.A., Andreeva I.S. et al. // Aerosols Science and Technology / Ed. I. Agranovski. Wiley–VCH, Weinheim. 2010. P. 407–454.
2. Асташкина М.С., Береснев С.А., Сафатов А.С., Буряк Г.А. О возможностях методов траекторного анализа для оценки характеристик биоаэрозоля юга Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 8. С. 711–716.
3. Croft B., Lohmann U., Martin R.V. et al. // Atmos. Chem. Phys. 2010. P. 1511–1543.

КЛИМАТОЛОГИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОЗОНА НА ФИКСИРОВАННЫХ ВЫСОТНЫХ УРОВНЯХ НАД ТОМСКОМ И ЭВРИКОЙ ПО ДАННЫМ AURA MLS ЗА 2005–2015 гг.

О.Е. Баженов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, boe@iao.ru

Атмосферный озон проявляет значительные пространственно-временные колебания. Сгладить изменения позволяет климатология озона, предполагающая изучение географических особенностей его распределения, а также сезонных, годовых, квази-двухлетних и других циклов изменчивости его характеристик [1]. На основе данных AURA MLS исследована климатология озона для Томска и Эврики, рассчитанная за 2005–2015 гг. за вычетом аномального 2011 г. Сезонный максимум озона на высотах порядка 12 км наблюдается в мае. Он объясняется значительным фотохимическим образованием озона, обусловленным антропогенными источниками NO_x, CO и углеводородов [2]. Динамический максимум проявляется приблизительно на высоте 24 км в конце марта. Начиная с мая–июня, работают в основном фотохимические факторы на высотах порядка 30 км и выше. Вклад циркуляции в стратосферный озон вновь проявляется сначала в октябре на высотах 20–25 км, а затем в декабре на высотах 25–30 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Образования и Науки (Соглашение № 14.604.21.0100 – уникальный идентификатор RFMTFI60414X0100).

1. Зуев В.В., Зуев В.Е., Бурлаков В.Д., Долгий С.И., Ельников А.В., Невзоров А.В. Климатология стратосферного аэрозоля и озона по данным многолетних наблюдений на Сибирской лидарной станции // Оптика атмосф. и океана. 2003. Т. 16, № 8. С. 719–724.
2. Rao T.N. et al. Climatology of UTLS Ozone and the ratio of ozone and potential vorticity over northern Europe // J. Geophys. Res. 2003. V. 108, N 22. DOI: 10.1029/2003JD003860.

ВКЛАД ВЛАЖНОСТИ В ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОЗОНОВОЙ АНОМАЛИИ В АРКТИКЕ В АПРЕЛЕ 2011 г. ПО ДАННЫМ AURA MLS

О.Е. Баженов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
boe@iao.ru*

В марте 2011 г. в стратосфере Арктики наблюдались экстремально низкие температуры и отношения смеси озона и экстремально высокие отношения смеси водяного пара (ВП). Температуры в стратосфере были достаточно низкими для образования полярных стратосферных облаков (ПСО). ВП и температура проявляют отчетливую антикорреляцию [1]: в холодные зимы наблюдаются повышенные смесевые отношения ВП. ПСО дольше формируются и существуют в условиях повышенной влажности и пониженной температуры в стратосфере. ВП внутри стратосферного вихря обычно характеризуется постепенным увеличением смесового отношения с высотой вследствие оседания воздушных масс с вышележащих слоев (где вода образуется путем окисления

метана). В холодном и устойчивом антарктическом вихре отношение смеси воды значительно меньше вследствие ее преобразования в частицы льда [2]. В работе показано, что содержание ВП, требуемого для образования частиц ПСО, растет с уменьшением температуры в стратосфере до тех пор, пока последняя остается выше точки замерзания воды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Образования и Науки (Соглашение № 14.604.21.0100 – уникальный идентификатор RFMTFI60414X0100).

1. *Khosrawi F. et al.* Sensitivity of polar stratospheric cloud formation to changes in water vapour and temperature // *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2015. V. 15, N 13. P. 17743–17796. DOI: 10.5194/acpd-15-17743-2015.
2. *Khaykin S.M. et al.* Arctic stratospheric dehydration – Part 1: Unprecedented observation of vertical redistribution of water // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. V. 13. P. 11503–11517. DOI: 10.5194/acp-13-11503-2013.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД НА ОСТРОВЕ БЕЛЫЙ, ЯНАО

А.А. Шинкаренко, Ю.И. Маркелов, А.Г. Бувич, В.А. Поддубный, К.Л. Антонов

*Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
aashink@yandex.ru*

В июле–августе 2015–2016 гг. выполнены измерения концентраций парниковых газов CO₂, CH₄, CO и H₂O в приземной атмосфере на о. Белый (Ямальский район, ЯНАО) в рамках научных экспедиций, организованных при поддержке НП «Российский центр освоения Арктики», г. Салехард.

Пункт наблюдения находился на северо-западной окраине острова Белый в районе расположения метеостанции им. М.В. Попова на удалении около 1 км от расположения потенциальных источников эмиссии парниковых газов, связанных с антропогенной активностью на острове в период экспедиционных работ. Измерения выполнялись на высотах 1 и 7 м с использованием автоматизированной системы на базе прецизионного газоанализатора Picarro G-2401 и многопортового клапана A0311. Сопутствующие метеорологические параметры фиксировались станцией Vaisala AWS310.

Полученные приборные данные приведены к временным сериям среднечасовых значений. Проанализированы общие и среднесуточные ходы концентраций парниковых газов за исследуемые периоды, выполнена оценка этих показателей на разных высотах в динамике, рассмотрены корреляционные связи концентраций парниковых газов с метеопараметрами. Также исследованы пространственно-временные неоднородности газов над морской и наземной экосистемой на основе результатов сравнительного анализа среднесуточной динамики содержания CO₂ и CH₄ для противоположных направлений ветра «море–суша».

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ И ИОНОВ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ФОНОВОГО РАЙОНА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНЕГО САМОЛЕТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Б.Д. Белан, Д.В. Симоненков, Г.Н. Толмачев

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, tgn@iao.ru

С середины 1997 г. идут непрерывные многолетние исследования тропосферного слоя 500–7000 м в фоновом районе Западной Сибири над лесным массивом Караканский бор правобережья южной части Новосибирского водохранилища с использованием самолета-лаборатории «Оптик(-Э)» на базе изначально Ан-30, ныне – Ту-134 (с 2011 г.). Зондирования проходят с почти ежемесячной периодичностью, в ходе которых производится, в том числе отбор проб атмосферного аэрозоля на фильтры типа АФА-ХП-20 для последующего количественного определения в лабораторных условиях основных неорганических компонентов аэрозольной матрицы – всех терригенных и более десятка микро-элементов, а также неуглеродсодержащих ионов: Si, Al, Fe, Mg, Ca, Ti, Cu, Mn, Pb, Cr, Ag, Ni, V, Ba, Mo, B, Co, Be, K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Br⁻, F⁻.

В ходе этого долговременного периодического экспериментального исследования накоплен огромный статистический материал – 1113 проб (по февраль 2016 г.), для большинства из которых достоверный порог обнаружения использованных физико-химических методов анализа достигнут в основной номенклатуре определяв-

шихся химических компонентов аэрозоля, что позволило построить эмпирические дифференциальные распределения их концентраций и спроектировать по ним теоретические кривые, при столь значимой статистической обеспеченности с высокой точностью характеризующие генеральные совокупности концентрационных параметров большинства рассматриваемых компонентов аэрозоля.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 15, программы ОНЗ РАН, грантов РФФИ №№ 14-05-00526; 14-05-00590, госконтрактов Минобрнауки №№ 14.604.21.0100 и 14.613.21.0013, Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО БЛОКИРОВАНИЯ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

О.Ю. Антохина, П.Н. Антохин, М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан,
Д.К. Давыдов, А.В. Фофонов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

На основе данных JR-STATION [1], реанализа ERA-Interim, критериев блокирования Tibaldi и Molteni [2] исследованы изменения концентрации метана в периоды атмосферного блокирования над западной Сибирью. В работе были проанализированы летние сезоны с 1 июня по 31 августа в период с 2005 по 2015 гг. Были выбраны события, удовлетворяющие критерию [2] 5 сут и более. Все события разделены на две группы по пространственному охвату и три группы по времени стационарирования. Далее мы исследовали наличие очагов возгорания в периоды блокирования. Как оказалось, только в 2008 и 2011 гг. атмосферное блокирование не привело к возгоранию биомассы, но оба события относились к наименее опасной категории граничных блокингов продолжительностью 5–6 дней. За исключением 2006 г. для всех исследуемых случаев было обнаружено увеличение концентрации метана, которое могло быть обусловлено как лесными пожарами, связанными с блокированием, так и непосредственно повышением эмиссии за счет температурной аномалии.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 14-05-00526; 14-05-00590; 14-05-93108.

1. *Sasakawa M., Arshinov M. et al.* Continuous measurements of methane from a tower network over Siberia // *Tellus B*. 2010. V. 62, N 5. P. 403–416.
2. *Tibaldi S., Molteni F.* On the operational predictability of blocking // *Tellus. A*. 1990. V. 42. P. 343–365.

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ХВОЕ ЮГО-ЗАПАДА ПРИБАЙКАЛЬЯ

Е.Е. Ляпина^{1,2}, Е.В. Ветрова², Н.Н. Воропай^{2,3}

¹*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия*

³*Институт географии им. В.Б. Сочавы, г. Иркутск, Россия*

eeldv@mail.ru

В настоящее время проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами является одной из актуальных. Ртуть относится к веществам первого класса опасности и обладает широким спектром негативного воздействия на живые организмы. Хвоя является практичным и информативным биоиндикатором экологического состояния атмосферного воздуха. Кроме того, хвоя участвует в формировании почвенного покрова, а накопленные ее химические элементы формируют состав почвы, поверхностных и подземных вод. Витаминная добавка из хвои в корм крупного рогатого скота активно используется фермерскими хозяйствами Сибирского региона. Кроме того, растения способны не только накапливать ртуть до весьма высоких концентраций, но и выделять ее обратно в атмосферу. Изучение содержания ртути в хвое позволит оценить степень ртутной нагрузки на территории Сибири.

Целью работы является исследование содержания ртути в разновозрастной хвое на территории юго-запада республики Бурятия, а также выявление особенностей накопления элемента в зависимости от вида дерева, возраста хвои, климатических и ландшафтных характеристик исследованных территорий. Полученные данные концентраций ртути по Восточной Сибири не превышают данных по содержанию ртути в хвое, приведенных в литературе, лежат в пределах средних концентраций для хвои Канады и Испании, однако значительно меньше средних концентраций по России.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СЕДИМЕНТАЦИИ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЧАСТИЦ АНЕМОФИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.В. Головки¹, В.Л. Истомин²

¹Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

golovko@kinetics.nsc.ru

Измерены скорости седиментации пыльцевых частиц нескольких видов ветроопыляемых растений, произрастающих в Западной Сибири. Показано, что при распылении анемофильной пыльцы пыльцевые частицы представлены как одиночными пыльцевыми зёрнами, так и агломератами из двух или большего количества зёрен. Установлена доля агломератов от общего числа частиц, осевших на подложку. Определены скорости оседания пыльцевых частиц. Измерены скорости седиментации пыльцевых агломератов из одного или большего числа зёрен. Установлена зависимость скорости седиментации от числа зёрен в агломерате.

СЧЕТНАЯ И МАССОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛЬЦЕВОЙ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД

В.В. Головки¹, В.Л. Истомин²

¹Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

golovko@kinetics.nsc.ru

Исследовано содержание пыльцы растений пробах атмосферного аэрозоля, отобранных в поселке Ключи с третьей декады июня по первую декаду августа. Измерены счетные и массовые концентрации содержащейся в атмосфере пыльцы. Определен таксономический состав пыльцы, присутствующей в воздухе. Показано, что в пробах в июне-июле доминирует пыльца злаков. Затем численно преобладать начинает пыльца сорных трав. Установлена сезонная и суточная динамика ее содержания в атмосфере.

СОДЕРЖАНИЕ МЕТАНА В НИЖНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В 2003–2015 гг. ПО ДАННЫМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА AIRS/AQUA

Е.Ю. Мордвин, А.А. Лагутин

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

zion0210@gmail.com

Представлены результаты исследований годового хода и межгодовой изменчивости содержания метана в нижней тропосфере Западной Сибири в 2003–2015 гг. по данным гиперспектрального комплекса AIRS спутника Aqua. Информационной основой работы являлись: 1) результаты обработки сырого потока данных Aqua, принимаемых наземными станциями ЕОСкан и УниСкан-24 Алтайского госуниверситета; 2) официальные данные зондирующего комплекса AIRS версии 6 (<ftp://airspar1u.ocs.nasa.gov/ftp/data/>).

Для верификации спутниковых данных проведены сопоставления результатов AIRS/Aqua по отношению смеси метана на высотах 0,5–2 км с ежемесячными самолетными измерениями, выполненными в Институте оптики атмосферы СО РАН в районе Обского водохранилища в период сентябрь 2002 г. – сентябрь 2011 г. в последнюю декаду месяца. Сопоставления показали, что: 1) результаты спутниковых наблюдений удовлетворительно согласуются с самолетными данными; 2) тренд аномалий отношения смеси метана на высоте 1 км по данным AIRS/Aqua, равный 4,0 млрд⁻¹, практически совпадает с результатом 3,8 млрд⁻¹ ИОА СО РАН.

В докладе обсуждается годовой ход и межгодовая изменчивость содержания метана в нижней тропосфере Западной Сибири в 2003–2015 гг., установленные по данным AIRS/Aqua, а также пространственное распределение трендов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (государственное задание на проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, выполняемых в Алтайском государственном университете).

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Т.О. Перемитина, И.Г. Ященко,
В.П. Днепровская

Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия

Объектом исследования является растительный покров территории Томской области, площадь которой составляет 314,4 тыс. км², где лесные земли составляют 68,3% от общей площади. Томская область активно развивается в промышленном отношении и в последние годы характеризуется нарастанием напряженности экологической обстановки. Основная причина этого – несоответствие масштабов техногенного воздействия на природную среду и мер по ее сохранению, восстановлению и охране. К осложняющим факторам относится слабый учет устойчивости природных ландшафтов к техногенным воздействиям. Для своевременной оценки экологического состояния труднодоступных территорий Томской области разработана методика количественной оценки состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий на основе спутниковых снимков Landsat и продуктов MODIS. Предложенная методика включает анализ состояния ландшафтов нефтедобывающих территорий, учет климатических факторов, количество аварийных отказов и размеры площадей загрязненных земель. Практическое применение разработанного подхода позволило проанализировать состояние растительного покрова труднодоступных нефтедобывающих территорий Томской области с 2010 по 2016 г. и определить угнетенное состояние растительности на территориях некоторых месторождений.

Таким образом, предложенный подход к анализу, основанный на применении данных дистанционного зондирования, позволяет проводить мониторинг состояния растительности труднодоступных нефтегазодобывающих территорий Томской области, проводить картографирование и пространственный анализ труднодоступной таежной местности, что оказывает значительную помощь в своевременной оценке экологической ситуации и принятии решений в устранении и профилактики загрязнения окружающей среды.

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, БИОМАССА ФИТОПЛАНКТОНА И ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДЫ ПЕЛАГИАЛИ БАЙКАЛА В ВЕСЕННИЕ РЕЙСЫ 2012–2016 гг.

В.М. Домьшева¹, М.В. Усольцева¹, М.В. Панченко², А.М. Шамрин²,
М.В. Сакирко¹, Д.А. Пестунов²

¹*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*
hydrochem@lin.irk.ru

Рассмотрена пространственная динамика концентрации биогенных элементов и количественных показателей фитопланктона (биомасса и численность) по данным судовых измерений, выполненных в верхнем 25-метровом слое воды пелагиали оз. Байкала в одну фенофазу – сразу после вскрытия озера ото льда, в мае–июне 2012–2016 гг. Кроме классического метода учета биомассы и численности планктонных водорослей применена экспрессная методика флуоресцентного анализа. Концентрация нитратов и фосфатов в продуктивные и непродуктивные по фитопланктону годы различалась незначительно. В содержании кремния отмечены существенные как межгодовые, так и межкотловинные различия, что обусловлено развитием диатомовых водорослей. Анализ данных показал высокую степень связи между прямым подсчетом биомассы и численности фитопланктона и флуоресцентного сигнала. Слабая корреляция между биомассой и концентрацией кремния, а также нитратов и фосфатов обусловлена тем, что на содержание биогенных элементов влияют не только биологические факторы – потребление их фитопланктоном, но и абиотические, такие как минерализация органического вещества, динамика водных масс озера, время освобождения отдельных участков Байкала ото льда, интенсивность прогрева поверхностного слоя воды.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00277а), Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН № 10, государственного задания ЛИН СО РАН № 0345-2014-0007 (№ гос. рег. 01201353446).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КЛИМАТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.П. Днепровская, И.Г. Яценко

Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия

Комплексный мониторинг территории – это одна из важных задач современных исследований. В настоящей работе проводятся исследования по выявлению особенностей пространственной структуры растительного покрова в зависимости от климатических изменений. Реализация этого подхода требует использования геоинформационных систем, позволяющих манипулировать и управлять пространственными данными, хранящимися в виде тематических слоев, географически определенных относительно цифровой карты-основы. Объектом исследования послужила территория Западно-Сибирской равнины в границах шести административных образований – Ямало-Ненецкого автономного округа, Ханты-Мансийского автономного округа и Томской, Омской, Новосибирской областей и юга Тюменской области. При исследовании климатических изменений были использованы метеорологические данные за период 1955–1992 гг., полученные на 99 метеостанциях, что позволило сделать прогноз до настоящего времени. Для определения характеристик пространственной структуры растительного покрова территории использовались многозональные снимки со спутника «Ресурс-О1-3» (сканер МСУ-СК), позволяющее различать большое количество природных и антропогенных объектов.

Таким образом, в результате проведенного комплексного мониторинга изменений показателей климатического состояния и пространственной структуры растительного покрова на обширной территории Западной Сибири установлена взаимосвязь этих показателей. В частности, показано, что повышение среднегодовой температуры воздуха сопровождается сокращением относительной площади темнохвойных лесов и ростом площади мелколиственных лесов и болот. С ростом среднего значения водозапаса в снежном покрове наоборот увеличивается относительная площадь темнохвойных лесов и сокращаются площади мелколиственных лесов и болот. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозе изменений геоботанической структуры растительности Западной Сибири в условиях ожидаемого глобального потепления.

ГЕНЕРАЦИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И СТОК АЭРОЗОЛЯ

ХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ВЕСЕННИХ АТМОСФЕРНЫХ НУКЛЕАЦИОННЫХ ВСПЛЕСКОВ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПОЛИГОНЕ «ФОНОВЫЙ»

А.С. Козлов¹, А.К. Петров¹, Л.В. Куйбида¹, М.Ю. Аршинов², Д.К. Давыдов², Б.Д. Белан²

¹Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

kozlov@kinetics.nsc.ru

Происхождение низколетучих органических соединений в атмосфере является лимитирующей и наименее изученной стадией процесса трансформации газ–частица. В ходе формирования аэрозольных частиц они определяют их оптические, гигроскопические, токсические и другие свойства во всем размерном диапазоне. Наиболее показательно формирование органического состава частиц происходит в период весенних нуклеационных всплесков – регулярно повторяющихся процессов зарождения новых частиц и их роста в течение дня [1].

Настоящий доклад представляет «парафиновую» гипотезу весенних нуклеационных всплесков. Определяющие результаты были получены в ходе анализа органической части атмосферного аэрозоля посредством газовой хромато-масс-спектрометрии. Отбор проб аэрозоля на фильтры проводился в периоды весенней измерительной кампании 2015–2016 гг. на полигоне «Фоновый» ИОА СО РАН. В анализе использовался метод структурной химической классификации [2], заключающийся в статистической обработке масс-спектров для выделения классов соединений и отдельных функциональных групп. Сравнению подвергались результаты, полученные в дни регистрации аэрозольных новообразований и в предшествующие (последующие) дни, когда массового образования новых аэрозольных частиц зафиксировано не было. Рассматривается обоснованное предположение о формировании всплесковых частиц из состава поверхностных растительных восков.

1. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Козлов А.В., Козлов А.С., Аршинова В.Г. Нуклеационные всплески в атмосфере бореальной зоны Западной Сибири. Часть II. Скорости образования и роста наночастиц // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 8. С. 730–737.
2. Varmuza K., Werther W. // J. Chem. Inf. Comput. Sci. 1996. V. 36. P. 323–333.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ФОТОЛИЗА И ФОТОХИМИЧЕСКОГО АЭРОЗОЛЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРФУРАЛЯ

М.Е. Плохотниченко, С.Н. Дубцов, Г.Г. Дульцева, П.В. Кошляков, Т.В. Кобзева

Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия,

mairy-jewel@yandex.ru

Фурфурол – альдегид, поступающий в атмосферу из биогенных и антропогенных источников. В атмосфере фурфурол окисляется с образованием газовых и аэрозольных продуктов. Механизмы этих процессов практически не изучены, поэтому целью данной работы было исследование фотолиза и фотонуклеации фурфурала. Получив такие данные, можно будет оценить вклад этого соединения в формирование органической компоненты атмосферного аэрозоля.

Проведенные исследования показали следующее.

1. Константы фотолиза фурфурола в воздухе и азоте равны. При увеличении концентрации паров воды в реакционной смеси от 9 до 18 торр, константа фотолиза увеличивается примерно в 1,5 раза.
2. Установлено, что выход аэрозольных продуктов при фотолизе фурфурала в воздухе не зависит от концентрации паров воды, и составляет $1,8 \pm 0,2\%$, а при фотолизе в азоте – слабо возрастает от 1 до 2% при увеличении $[H_2O]$ от 0 до 18 торр.
3. С помощью спиновых ловушек зарегистрированы и идентифицированы НСО и фурильный радикалы, образующиеся при фотолизе фурфурала, что свидетельствует о радикальном пути фотолиза.

4. Показано, что аэрозольные частицы представляют собой сложную смесь продуктов окислительного раскрытия фуранового кольца и небольшое количество продуктов, сохраняющих фурановое кольцо. В газовых продуктах фотолиза идентифицированы СО, метилацетилен.

На основании полученных результатов предложена схема химических процессов, качественно описывающих образование газовых и аэрозольных продуктов фотолиза фурфурала.

ВЛИЯНИЕ СИБИРСКИХ ПОЖАРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ОКСИДА УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ НАД ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТЬЮ РОССИИ ЛЕТОМ 2016 г.

С.А. Ситнов, И.И. Мохов, А.В. Джола

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия, sitnov@ifaran.ru

С использованием данных наземных и спутниковых измерений содержания оксида углерода (СО) проведен анализ причин повышения содержания СО в атмосфере над европейской территорией России (ЕТР) летом 2016 г. Результаты анализа свидетельствуют, что повышение содержания СО в атмосфере ЕТР было связано с дальним переносом продуктов горения от пожаров в Сибири. Аномальному восточному переносу СО в атмосфере способствовало преимущественное расположение над центром Северной Евразии области высокого давления к северу от области низкого давления, характерное для атмосферного блокирования дипольного типа.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-05-07853_a).

СОРБЦИЯ МОЛЕКУЛ ВОДЫ НАНОПОРАМИ КРЕМНИЕВОГО (SiO₂) АЭРОГЕЛЯ

А.А. Луговской, К.Ю. Осипов, Б.А. Тихомиров

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, bat@iao.ru

Предложены методика подготовки нанопористых образцов с адсорбированным газом для спектрометрических опытов, при реализации которой применение буферной камеры большого объема в составе вакуумной установки позволяет определять концентрацию адсорбированных образцом молекул газа, и способ подготовки образца, при реализации которого время очистки образца от адсорбированных молекул уменьшается на порядок, по сравнению со временем очистки образцов с комнатной температурой, в результате одновременного с откачкой газа бесконтактного подогрева образца излучением галогенной лампы.

Методика и способ апробированы в простых лабораторных исследованиях сорбции водяного пара кремниевым (SiO₂) аэрогелем.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ ИЗ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ

М.В. Кулдышева^{1,2}, С.В. Валиулин¹, А.М. Бакланов¹, О.В. Боровкова¹

¹*Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный педагогический университет, Россия*

valiulin@kinetics.nsc.ru

Недавно [1] было обнаружено, что в воздухе угольных шахт присутствует значительное количество наночастиц размером до 100 нм, являющихся продуктами процесса «испарения–конденсация» органических компонентов каменного угля, выделяющихся в процессе выработки породы. Таким образом, эти частицы являются добавкой органических компонентов в воздухе шахт и, смешиваясь с метаном, могут представлять потенциальную опасность, в том числе понижая порог воспламенения метан-воздушной смеси. Поэтому необходимо исследовать роль этого органического аэрозоля на взрывоопасность угольных шахт.

В настоящей работе разработан метод получения органического аэрозоля из каменноугольной смолы, по своим физико-химическим характеристикам соответствующего аэрозолю, образующемуся в лаве угольной шахты в процессе добычи каменного угля. Методом хромато-масс-спектрометрии показано качественное соответствие между химическим составом получаемого аэрозоля с химическим составом аэрозоля, образующегося при механическом размоле каменного угля.

Разработанный метод генерации аэрозоля из каменноугольной смолы в настоящее время применяется в исследованиях по взрывоопасности метан-аэрозольно-воздушной смеси.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-33-00012 мол_а).

1. Бакланов А.М., Валиулин С.В., Дубцов С.Н. и др. // Докл. РАН. 2015. Т. 461, № 3. С. 295–299.

ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АЭРОДИСПЕРСНОЙ СМЕСИ ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ ЕЕ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ

Р.Ф. Рахимов, В.П. Шмаргунов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
temuran@gmail.com*

Газово-дисперсная смесь, взятая из приземного слоя атмосферы в замкнутый объем большой аэрозольной камеры (БАК), подвергалась продолжительному облучению ультрафиолетовой лампой (ДРТ-1000). В результате облучения в БАК формировалась повышенная концентрация озона и интенсивно генерировалась тонкодисперсная фракция аэрозольных частиц с размерами $r < 80$. По ходу проводимого эксперимента из рабочего объема БАК в камеру спектронефелометра производился забор проб для измерения текущих значений направленного коэффициента светорассеяния $\beta_{ns}(\lambda_i, \theta_j)$ газовой-дисперсной смеси. Используя временные ряды измеренных нефелометром значений компонент $\beta_{ns}(\lambda_i, \theta_j)$ на четырех длинах волн $\lambda_i = 455, 525, 585, 630$ нм и пяти углах рассеяния $\theta_j = 15, 45, 110, 135, 165^\circ$ решалась численно обратная задача аэрозольного светорассеяния. Это позволило проанализировать специфику изменения микроструктуры газовой-дисперсной смеси в течение 22 сут. Точность решения обратной задачи аэрозольного светорассеяния была обеспечена стабильностью измерения оптических характеристик за счет применения мощных 4-цветных светодиодов LZ4-20MA10, контроля их интенсивности и вычитанием темновых сигналов, а также накоплением полезного сигнала фотоприемником типа Hamamatsu H7468 в течение 3–7 мин. Погрешность регистрации 40 элементов вектора измерений не превышала 3%. По результатам обращения нефелометрических данных удалось проследить последовательные изменения оптических и микрофизических свойств при накоплении тонкодисперсных частиц. После 6–7 сут действия ультрафиолетовой лампы в результате генерации тонкодисперсных частиц в БАК и осаждения частиц дисперсной смеси на стенки камеры устанавливается квазиравновесное состояние.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-05-01983-а).

ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПИРОЛИЗНОГО ДЫМА ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ ЕГО В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Р.Ф. Рахимов, В.П. Шмаргунов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
temuran@gmail.com*

Воздушно-дисперсная смесь пиролизного дыма с атмосферным воздухом приземного слоя подвергалась интенсивному облучению ультрафиолетовой лампой (ДРТ-1000) в замкнутом объеме большой аэрозольной камеры (БАК). В ходе дымового эксперимента прослежена динамика изменений оптических и микрофизических характеристик дисперсной смеси. При этом использованы спектронефелометрические измерения коэффициента направленного рассеяния нефелометром на четырех длинах волн $\lambda_i = 455, 525, 585, 630$ нм, пяти углах рассеяния $\theta_j = 15, 45, 110, 135, 165$. Решая численно обратную задачу аэрозольного светорассеяния, изучены качественные изменения функции плотности распределения сечения $s(r) = dS/dr$ и объемов $v(r) = dV/dr$ аэрозольных частиц, и по результатам прямого численного моделирования рассмотрена динамика изменения основных оптических характеристик дисперсной смеси.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-05-01983-а).

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ МИКРОЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ГИДРОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

В.С. Захаренко¹, Е.Б. Дайбова²

¹*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

²*Сибирский институт сельского хозяйства и торфа, г. Томск, Россия, zakh@catalysis.ru*

Исследование гидроксида кальция, не содержащего примеси карбоната кальция, показало, что на поверхности микрочастиц аэрозоля из гидроксида кальция отсутствует диоксид углерода. Фотохимическая активность в отношении фотоадсорбции кислорода и фотодесорбции газов с поверхности частиц аэрозоля наблюдается при длинах волн квантов света $\lambda < 400$ нм. Фотоадсорбция кислорода на кислородсодержащих соединениях кальция CaO, Ca(OH)₂ и CaCO₃ имеет сходные механизмы, связанные с образованием вакансий анионов в структуре решетки этих соединений.

Исследованы адсорбционные и фотосорбционные свойства частиц аэрозоля, полученных разломом (диспергированием) кристалла минерала гидроксида магния в условиях окружающего воздуха. Проведен анализ состава адсорбированного поверхностного слоя частиц гидроксида магния, формируемого в процессе разлома кристалла на воздухе. Изучены кинетические закономерности фотодесорбции молекул с поверхности частиц микрокристаллов и взаимодействия фреона 22 (CHF₂Cl) с их поверхностью в темноте и под действием света. Определены квантовые выходы и спектральные зависимости квантовых выходов фотодесорбции диоксида углерода и фотоадсорбции оксида углерода.

Обнаружен эффект вытеснения слабо связанного монооксида углерода с поверхности микрочастиц гидроксидов магния и кальция во время темновой адсорбции фреона 22. Предположено, что монооксид углерода образуется в результате восстановления атмосферного диоксида углерода после разрыва связей Mg–OH во время диспергирования кристалла брусита на воздухе. Образование оксида углерода на поверхности гидроксида кальция в присутствии в реакционном объеме адсорбированной воды и воды в газовой фазе происходит во время взаимодействия Ca(OH)₂ с угольной кислотой.

ВЛИЯНИЕ РАССЕЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОМ АЭРОГЕЛЯ ПРИ НАПУСКЕ ВОДЯНОГО ПАРА В НАНОПОРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ БАЗОВОЙ ЛИНИИ В ИК-СПЕКТРАХ. МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.А. Луговской¹, А.Н. Дучко^{1,2}

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, laa@iao.ru*

Проведен качественный анализ изменения спектров поглощения и рассеяния, полученных оптико-акустическим методом и методом ИК-спектроскопии, найдены закономерности изменения базовой линии в Фурье-спектрах поглощения при изменении давления паров воды в аэрогелях различной плотности относительно полученных данных по рассеянию.

Комплексная обработка результатов и алгоритмизация сопоставления данных ОА измерений с данными ИК-спектроскопии позволили составить программный комплекс, позволяющий экстраполировать выявленные зависимости на различные пористые материалы

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-02-00802).

ФОТОФОРЕЗ ФРАКТАЛО-ПОДОБНЫХ АГРЕГАТОВ САЖИ: МИКРОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТОМ И ВОЗМОЖНЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ

С.А. Береснев, М.С. Васильева, В.И. Грязин, Л.Б. Кочнева

*Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия
sergey.beresnev@urfu.ru*

Представлены результаты разработки микрофизической модели фотофоретического движения фрактало-подобных агрегатов сажи, проведено сопоставление с известными лабораторными экспериментальными данными, обсуждаются транспортные возможности фотофоретического переноса частиц сажи в атмосфере.

Впервые представлены результаты расчетов характеристик фотофоретического движения фракталоподобных агрегатов сажи в поле коротковолнового солнечного и уходящего теплового излучения Земли. Показано, что в рамках новой модели фотофоретические эффекты для сажевого аэрозоля в условиях стационарной атмосферы наиболее существенно проявляются на высотах верхней тропосферы – нижней стратосферы.

Работа выполнена по проекту № 2189 Минобрнауки РФ в рамках базовой части государственных заданий ВУЗам по проведению НИР и при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МК-9289.2016.5.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА САЛЬТАЦИИ НА ОПУСТЫНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ МЕТОДАМИ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ САЛЬТИРУЮЩИХ ПЕСЧИНОК

Г.И. Горчаков¹, А.В. Карпов¹, В.М. Копейкин¹, А.А. Титов², Г.А. Курбатов¹, А.О. Серегин²,
Г.А. Кузнецов¹, Р.А. Гуцин², О.И. Даценко²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

²Московский технологический университет, Россия
gengor@ifaran.ru

Выполнено исследование механизма сальтации в ветропесчаном потоке на опустыненных территориях. Разработана модель динамики сальтации, позволяющая учитывать аэродинамическую силу, силу тяжести, силу Магнуса, электрическую силу, подъемную и силу Сэфмана. Решены прямые и обратные задачи динамики сальтирующих песчинок, в том числе, для режима струйноимпульсной сальтации. Впервые обнаружено явление квазипериодической сальтации [1, 2], свидетельствующее о влиянии взаимодействия поля ветра с мелкомасштабными волновыми неоднородностями на подстилающей поверхности на интенсивность сальтации. Впервые обнаружено и объяснено явление квазигоризонтального переноса песчинок в нижнем миллиметровом слое сальтации [3]. Получены новые данные об аномально высокой электризации ветропесчаного потока. Впервые получена эмпирическая функция распределения удельного заряда сальтирующих песчинок на опустыненной территории [4].

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

1. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Злобин И.А., Бунтов Д.В., Соколов А.В. Исследование динамики сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Докл. РАН. 2013. Т. 452, № 1. С. 669–676.
2. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Кузнецов Г.А., Бунтов Д.В. Квазипериодическая сальтация в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 6. С. 472–477.
3. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Соколов А.В., Бунтов Д.В. Влияние силы Сэфмана, подъемной силы и электрической силы на перенос частиц в ветропесчаном потоке // Докл. РАН. 2016. Т. 467, № 3. С. 336–341.
4. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Титов А.А., Бунтов Д.В., Кузнецов Г.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Курбатов Г.А., Серегин А.О., Соколов А.В. Вариации удельного заряда сальтирующих песчинок в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 1. С. 31–39.

ПОЛЕВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ВОЛГА-2016»

А.В. Карпов¹, В.М. Копейкин¹, Д.В. Бунтов¹, Р.А. Гуцин², О.И. Даценко²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

²Московский технологический университет, Россия
karpov@ifaran.ru

В августе 2016 г. на песчаной опустыненной территории вблизи р. Волги выполнены комплексные измерения параметров сальтации в ветропесчаном потоке, включая распределение сальтирующих песчинок по размерам, флуктуации концентрации сальтирующих песчинок и электрические токи сальтации.

В приземном слое атмосферы выполнены измерения турбулентных пульсаций трех компонент скорости ветра и температуры воздуха.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №№ 14-05-00523, 16-35-00467).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ТРАНСФОРМАЦИИ ВЫБРОСОВ НОРИЛЬСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ WRF. СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ САМОЛЕТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

П.Н. Антохин¹, А.В. Гочаков², А.Б. Колкер², Д.В. Симоненков¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
г. Новосибирск, Россия, apn@iao.ru

Используя экспериментальные данные по концентрациям диоксида серы и сульфатного аэрозоля, полученные в ходе научно-экологического обследования Норильского промышленного района в 2002–2004 гг., делается попытка на основе их сопоставления с результатами расчета гидродинамической моделью численного прогноза погоды WRF оценить процесс трансформации «газ–частица» в шлейфе по мере удаления от источника выбросов.

Развернутый домен гидродинамической модели численного прогноза погоды WRF версии 3.5.1, дополненной химическим прогностическим блоком (схема RACM – Regional Atmospheric Chemistry Mechanism), обеспечивает расчет параметров с шагом 5 км и покрывает район города Норильска с перекрытием площади вероятного распространения SO₂ (60 × 70 узлов с центром в г. Норильске). Для подготовки начальных и граничных условий химического блока используется набор статистических «плоских» эмиссий RETRO/EDGAR.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 15, программы ОНЗ РАН, грантов РФФИ №№ 14-05-00526, 14-05-00590, Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОЛИЗА ДЫМОВОЙ ЭМИССИИ НА ПРИМЕРЕ ТЛЕЮЩЕГО ГОРЕНИЯ ОПИЛОК ДУБА

В.И. Макаров¹, С.А. Попова¹, С.Н. Дубцов¹, М.Е. Плехотниченко^{1,2}

¹Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Россия, makarov@kinetics.nsc.ru

Известно, что при тлеющем горении лесных горючих материалов выделяются большие количества веществ в аэрозольной и газовой фазах, которые могут влиять на состав и видимость атмосферы, оказывать негативное влияние на здоровье человека, а также приводить к образованию вторичного аэрозоля. В лабораторных условиях исследовано термическое разложение опилок дуба в диапазоне температур 350–450 °С в потоке воздуха. Первичные аэрозольные продукты отбирались на аэрозольные фильтры, а газовые продукты подавались в проточный трубчатый реактор, где подвергались УФ-облучению лампой ПРК-4. В результате образовались так называемые вторичные частицы с медианно-массовым диаметром около 70 нм с концентрацией 106 частиц/см³. Используя метод хромато-масс-спектрометрии, были получены данные о химическом составе первичной эмиссии аэрозольной фазы, газообразных продуктов горения и вторичного аэрозоля, образовавшегося в результате фотолиза газовой фазы. Отметим, что в составе вторичных аэрозолей в основном обнаружены производные фенола, в то время как в первичных частицах присутствуют в достаточном количестве также производные фурана.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ КОЭФФИЦИЕНТА СКОЛЬЖЕНИЯ САЛЬТИРУЮЩИХ ПЕСЧИНОК В ВЕТРОПЕСЧАНОМ ПОТОКЕ

А.В. Карпов¹, Р.А. Гушин², О.И. Даценко²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

²Московский технологический университет, Россия, karпов@ifaran.ru

Основным механизмом переноса песка на опустыненных территориях является скачкообразное перемещение песчинок. При определении вертикального профиля массового потока сальтации помимо скорости ветра необходимо знать профиль концентрации песчинок и коэффициент их скольжения [1]. С помощью разработан-

ной ранее модели [2] рассчитаны коэффициенты скольжения песчинок в слоях от 5 до 10 мм и от 10 до 20 мм. Коэффициенты скольжения для мелкого песка определены впервые. Результаты расчетов верифицированы по опубликованным данным измерений [1, 3].

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

1. Семенов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. Алматы: КазНИИЭК, 2011. 580 с.
2. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Злобин И.А., Бунтов Д.В., Соколов А.В. Исследование динамики сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Докл. РАН. 2013. Т. 452, № 1. С. 669–676.
3. Rasmussen K., Sorensen M. Vertical variation of particle speed and flux density in Aeolian saltation: Measurement and modeling // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. F02S12. 12 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

А.В. Старченко^{1,2}, А.А. Барт¹, Л.И. Кижнер¹, М.А. Волкова¹, Н.К. Барашкова¹, И.В. Кужевская,
М.В. Терентьева¹, А.А. Семенова¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
starch@math.tsu.ru

Представлены результаты применения мезомасштабной метеорологической модели высокого разрешения TSU-NM3, разрабатываемой в НИ ТГУ и ТИЦ СО РАН и предназначенной для прогноза и исследования метеорологической ситуации над ограниченной урбанизированной территорией или крупным транспортным узлом, расположенным на территории Западной Сибири.

Разрабатываемая мезомасштабная метеорологическая модель применяется для детального исследования метеообстановки и качества атмосферного воздуха в городе для некоторых зафиксированных случаев штилевых условий, для прогнозирования вероятности обледенения летательных аппаратов при взлете и посадке, при оценке дальности видимости. Результаты расчетов сравниваются с наблюдениями, выполненными в институтах Томского научного центра, а также метеослужбой аэропорта Богашево (г. Томск).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 16-41-700178 p_a.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЛОБАЛЬНОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ ПО МОДЕЛИ ПЛАВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ WRF

А.А. Барт, А.В. Старченко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

Проведение расчетов по модели WRF (Wather Research & Forecasting) в региональном масштабе связано с заданием метеорологических данных на границах расчетной области. Такие данные можно получить из реанализа или модели более крупного (глобального) масштаба. Базовая версия WRF позволяет работать с наборами выходных данных повсеместно используемых моделей. К самому набору данных предъявляются минимальные требования наличия определенных пространственных и приземных полей [1].

Выходные данные метеорологического прогноза по модели ПЛАВ [2] содержат в себе такой минимально необходимый набор полей и, кроме того, содержат поля температуры и влажности почвы. В работе представлен подход, позволяющий использовать выходные данные метеорологического прогноза, получаемого с использованием глобальной модели ПЛАВ Гидрометцентра РФ, при численном моделировании мезомасштабных атмосферных процессов с использованием модели WRF. Представлены некоторые результаты реализации такого подхода для территории города Томска.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 16-41-700178.

1. *WRF-ARW V3: User's Guide, Chapter 3* www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/users_guide_chap3.htm
2. *Tolstykh M.A. et al. Development of the multiscale version of the SL-AV global atmosphere model // Meteorologiya i Gidrologiya. 2015. N 6. P. 25–35.*

ОЦЕНКА КВАЗИДВУМЕРНЫХ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ СУБМИКРОННОГО АЭРОЗОЛЯ В РЕГИОНЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Е.С. Дубинкина, В.А. Поддубный

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, Vassily.Poddubny@gmail.com

Представлены результаты решения задачи оценки среднего эффективного поля объемной концентрации субмикронного аэрозоля в регионе Дальнего Востока. Использованный в данной работе метод флюид-локации атмосферы предназначен для оценки полей концентраций загрязняющих веществ на основе анализа динамики атмосферы (множества обратных траекторий движения лагранжевых частиц) и данных локальных измерений.

Расчеты квазидвумерного среднего эффективного поля концентраций атмосферного аэрозоля выполнялись на основе данных фотометрических наблюдений за 2013–2015 гг. выполненных в пункте аэрозольного мониторинга сети AERONET, расположенном в г. Уссурийске. Расчеты проводились в области $125\text{--}135^\circ$ в.д. и $40\text{--}50^\circ$ с.ш. Для проведения численных тестов размеры стороны расчетной ячейки задавались 1 и $0,5^\circ$.

Уравнения сохранения решались для объемной концентрации субмикронного аэрозоля, восстановленной численным интегрированием функции распределения аэрозольных частиц по размерам. В качестве информации о динамике атмосферы использовались обратные траектории движения воздушных потоков продолжительностью четверо суток для изобарической поверхности 950 ГПа, рассчитанные с помощью программного комплекса HYSPLIT.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ соглашение № 14-50-00034.

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ФЛЮИД-ЛОКАЦИИ АТМОСФЕРЫ

Е.С. Дубинкина, В.А. Поддубный

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, EkaterinaN@ecko.uran.ru

Обсуждаются алгоритмы численной реализации метода флюид-локации атмосферы, позволяющего восстанавливать средние поля концентраций атмосферных примесей на основе анализа динамики атмосферы (множества обратных траекторий движения лагранжевых частиц) и данных локальных измерений. Показано, что задача моделирования пространственной структуры распределения атмосферной примеси методом ФЛА (без учета возможных физико-химических процессов) сводится к решению системы слабо нелинейных алгебраических уравнений. Размер решаемой системы уравнений определяется количеством ячеек расчетной области, поэтому при увеличении географического охвата или пространственного разрешения задачи, большое значение приобретает эффективность алгоритма, выражаемая в терминах времени счета. Как показали численные эксперименты, итерационный метод Бройдена позволяет найти сходящееся решение системы линейных или слабо нелинейных уравнений, а также существенно сократить время счета.

В качестве примера представлены результаты решения демонстрационной задачи оценки квазидвумерного среднего эффективного поля объемной концентрации субмикронного аэрозоля в регионе Дальнего Востока.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ соглашение № 14-50-00034.

РАЗРАБОТКА МИКРОМАСШТАБНОЙ АТМОСФЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ МАСС В ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ

А.В. Старченко, Е.А. Данилкин, Л.Е. Грудович

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, ugin@math.tsu.ru

Работа посвящена построению и апробации двухмерной микромасштабной математической модели для исследования турбулентных течений и процессов переноса примеси в уличных каньонах. Интерес представляет изучение локальных особенностей изменения скорости течения и образования зон повышенных концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в городских кварталах с учетом влияния температурной неоднородности и растительности.

Математическая модель включает в себя осредненные по Рейнольдсу уравнение неразрывности и уравнения Навье–Стокса. Замыкание системы уравнений проводится с использованием двухпараметрической « k - ϵ » модели и градиентно-диффузионной гипотезы Буссинеска. Численное решение полученной системы дифференциальных уравнений в частных производных осуществляется на основе метода конечного объема. Влияние

растительности учитывается с помощью дополнительных источников членов в осредненных уравнениях Навье–Стокса и в транспортных уравнениях модели турбулентности. Апробация модели проведена на двумерном примере обтекания лесополосы из хвойных деревьев [1].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-41-700178 p_a).

1. *Nuterman R., Starchenko A., Baklanov A.* Numerical model of urban aerodynamics and pollution dispersion // *Int. J. Environ. Pollution.* 2011. V. 44, N 1–4. P. 385–393.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ В ИНВЕРСИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Э.А. Пьянова

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
pianova@ngs.ru*

Для многих территорий Сибири характерна частая повторяемость температурных инверсий, т.е. рост температуры с увеличением высоты. Такое поведение температуры может наблюдаться как в приземном слое, так и в приподнятых слоях атмосферы. Температурная инверсия наиболее характерна для зимнего периода, но может наблюдаться и в другие сезоны года, в том числе и летом. На формирование и локализацию инверсионных слоев существенное влияние оказывают рельеф местности и другие характеристики подстилающей поверхности. Следствием инверсии могут быть застойные явления и накопление загрязнений в нижних слоях атмосферы. Возможность развития таких неблагоприятных метеорологических сценариев необходимо учитывать при проектировании промышленных объектов и при освоении минерально-ресурсной базы территорий.

В работе представлены результаты сценарного численного моделирования, отражающие процессы формирования атмосферных инверсий в условиях сложной орографии (на примере территорий Забайкалья и Красноярского края) и связанный с ними процесс рассеивания пассивной примеси. Расчеты проведены на основе мезомасштабной негидростатической модели динамики атмосферы, разрабатываемой в ИВМиМГ СО РАН.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ № 14-01-00125-а, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П, проекта П.2П/1.3-3 фундаментальных исследований СО РАН.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И ПЕРЕНОСА ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

В.А. Перминов¹, Э.Е. Сопруненко¹, V. Agranat²

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия*

²*ACFDA, Toronto, Canada, perminov@tpu.ru*

Как правило, возгорание в лесах происходит в нижнем ярусе леса в напочвенном покрове, а затем огнем охватывается полог леса. В настоящей работе приводятся постановка и результаты расчетов возникновения верхового лесного пожара в постановке, полученной на основе общей математической модели пожаров, предложенной А.М. Гришиным [1]. Используя законы механики сплошных сред исследуются процессы возникновения верховых лесных пожаров в результате перехода низовых лесных пожаров в верховые и распространения верховых лесных пожаров. Учитывается турбулентность течения, двухтемпературность среды в пологе леса, основные физико-химические процессы (сушка и пиролиз лесных горючих материалов, химические реакции турбулентного горения газообразных и догорания конденсированных продуктов пиролиза) и перенос энергии излучением. Исследование проводилось методом математического моделирования физических процессов. Он основан на численном решении уравнений Рейнольдса для турбулентного течения с учетом уравнений диффузии для химических компонентов и уравнений сохранения энергии для газовой и конденсированной фаз. Для получения дискретных аналогов использовался метод конечного объема. Применялся метод расщепления по физическим процессам. Исследовано влияние различных параметров лесного массива и метеоданных на процессы возникновения и распространения низовых и верховых лесных пожаров и гидродинамику течения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-41-700022 p_a).

1. *Grishin A.M.* Mathematical modeling forest fire and new methods fighting them. Tomsk: Publishing House of Tomsk University, 1997.

ИНВЕРСИОННЫЕ И ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ АТМОСФЕРЕ

М.С. Юдин

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
m.yudin@ommgp.sccc.ru*

Исследуется влияние включения инверсионного слоя над орографическим препятствием на распространение гравитационных течений в атмосфере, таких как холодные фронты, над этим препятствием. Моделирование проводится с помощью трехмерной конечно-разностной модели в аппроксимации Буссинеска, а также двумерной негидростатической модели конечных элементов, применяемой специально для атмосферных течений над крутой орографией. В качестве начальных данных берутся поля для идеализированного атмосферного фронта. Конечно-разностная модель применяется для сравнительно гладкой орографии, в то время как конечные элементы используются для крутых склонов. Обе модели основаны на уравнениях Навье–Стокса для сжимаемого потока. Для фильтрации шумов используется специальная процедура в виде модифицированного фильтра Асселина.

Проведенные расчеты показали, что введение слоя инверсии приводит к интенсификации вертикальных скоростей и увеличению теплового потока, то есть к специфическим эффектам, которые существенно замедляют скорость распространения фронта, как над препятствием, так и над плоской орографией. В результате усиливается вовлечение теплого воздуха. Все это приводит со временем к существенному замедлению скорости распространения фронта. При обтекании препятствия заметно уменьшаются как наветренная так и подветренная скорости фронта. Эти выводы находятся в согласии с результатами расчетов по конечно-разностной модели с исходной генерацией фронта протяженным источником холодного воздуха.

Приведены также результаты расчетов по конечно-разностной модели в сравнении с данными реальных наблюдений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-01-00125-а) и Президиума РАН (программа I.33П).

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЯРКОСТИ ДНЕВНОГО НЕБА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЛЬБЕДО ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В ИК-ОБЛАСТИ СПЕКТРА

В.Е. Павлов¹, В.В. Пашнев², С.С. Орлов²

¹*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия*

²*Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия
r520@list.ru*

Рассматривается вопрос о влиянии геометрических и оптических параметров на величину яркости дневного безоблачного неба в солнечном альмукантарате. Рассмотрена ИК-область спектра 1,02 мкм, для которой выполнены многочисленные измерения в системе AERONET. Аэрозольная модель атмосферы включала три фракции: ультрамикроскопическую, субмикронную и грубодисперсную со значениями коэффициентов асимметрии световых потоков 6, 9 и 14. На основе данных решения уравнения переноса выявлено влияние альbedo подстилающей поверхности, оптической толщи рассеяния, вытянутости индикатрисы и зенитного угла Солнца на яркость неба. При этом вытянутость суммарной аэрозольной индикатрисы рассеяния задавалась путем варьирования аэрозольных толщ по фракциям. В итоге подобран интервал углов рассеяния, в пределах которого интегрирование яркости для получения данных по потокам с целью вычисления альbedo обеспечивает оптимальный результат. Получена «инженерная» формула, описывающая поведение данного интеграла при изменении параметров среды. Предполагается расширение спектрального интервала и практическое использование расчетных данных для территорий, где прямые измерения альbedo проводятся крайне редко, либо вообще отсутствуют.

1. Павлов В.Е., Орлов С.С., Пашнев В.В. Яркость дневного неба как источник информации об альbedo подстилающей поверхности в ИК-области спектра. Часть I // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 1. С. 64–69.

ЧИСЛЕННАЯ СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНЫХ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

В.А. Огородников, С.С. Скворцов

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
ova@osmf.ssc.ru*

Рассматривается численная стохастическая модель совместных пространственных полей среднесуточной температуры воздуха и среднесуточной относительной влажности на регулярной сетке с использованием данных наблюдений на метеорологических станциях с учетом одномерных распределений и совместной корреляционной структуры. Эмпирическое распределение поля среднесуточной температуры аппроксимируется смесью нормальных распределений, причем количество элементов смеси выбирается из условия оптимальной близости модельной и эмпирической плотностей. Одномерное распределение относительной влажности аппроксимируется гамма-распределением. Для построения модели применяется метод моделирования негауссовых полей, основанный на нормализации исходных данных [1], который является модификацией метода обратных функций распределения. Специфика моделирования состоит в том, что взаимные корреляционные связи среднесуточных температуры и влажности, оцененные по данным наблюдений имеют значительный разброс, зависящий от расстояния между станциями и от ориентации в пространстве отрезков, соединяющих соответствующие пары станций. Этот разброс обусловлен не только спецификой рассматриваемых метеорологических параметров, неоднородностью поля, но и ограниченностью объема используемой выборки. Для построения параметрической стохастической модели рассматриваемых полей используется функциональная зависимость между температурой и влажностью. Приводятся результаты верификации модели и оценки характеристик неблагоприятных сочетаний рассматриваемых параметров на основе данных наблюдений для Новосибирской области.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №№ 15-01-01458 и 15-01-08988).

1. *Марченко Ф.С., Семочкин А.Г.* ФФФ-метод моделирования временных рядов по наблюдаемым реализациям // Численные методы статистического моделирования. Новосибирск: Изд-во ВЦ СО АН СССР, 1987. С. 14–22.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕЗОМАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ГОРОДЕ

Л.И. Кижнер, А.А. Барт, А.В. Старченко

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
kdm@mail.tsu.ru*

Математическое моделирование в настоящее время играет существенную роль при изучении атмосферных процессов. Модели высокого разрешения позволяют прогнозировать погоду, а также дают возможность более детально изучать объекты и процессы в атмосфере. Математическая модель является приближением к реальной предметной области, и адекватность ее зависит от степени конкретизации. Качество модели оценивается путем сравнения результатов с данными измерений, при этом наибольший интерес представляют особые условия погоды.

2012 год на территории Томской области стал самым жарким за последние десятилетия, рекордным по количеству опасных метеорологических явлений и характеризовался обширными лесными пожарами.

По этой причине для проверки мезомасштабных математических моделей краткосрочного прогноза, разработанных в ТГУ [1], был выбран период, характеризующийся наличием в атмосфере дыма от пожаров и слабым ветром.

Городская застройка и лесные насаждения увеличивают шероховатость подстилающей поверхности и тем самым влияют на скорость движения воздушного потока. Для проверки модели был выбран период, в течение которого средняя скорость ветра в городе была ниже по сравнению с ближайшими окрестностями, характеризующимися ровным рельефом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-41-700178).

1. *Analysis of observations and results of numerical modeling of meteorological parameters and atmospheric air pollution under weak wind conditions in the city of Tomsk / A.V. Starchenko et al. / 21st International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics // Proc. SPIE. V. 9680 (SPIE, Bellingham, WA, 2015) Six-digit Article CID Number. 9680-228.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ МОДЕЛЯМИ КОНТИНУУМА ВОДЯНОГО ПАРА В ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЕ

Т.Ю. Чеснокова¹, К.М. Фирсов², А.В. Ченцов¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, ches@iao.ru

²Волгоградский государственный университет, Россия

Рассчитаны потоки солнечного излучения в облачной и безоблачной атмосфере методом дискретных ординат с учетом многократного рассеяния и поглощения. Рассмотрены облачные ситуации, наблюдающиеся в регионах Томска и Нижнего Поволжья. Сделано сравнение потоков, рассчитанных с различными моделями континуального поглощения водяного пара, такими как эмпирическая модель MT_CKD [http://rtweb.aer.com/continuum_frame.html], наиболее часто используемая в атмосферных расчетах, и модель континуума, основанная на экспериментальных данных [1]. Оценивается вклад континуума в потоки излучения в условиях различных типов облачности.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ФНИ государственных академий наук (проект П.10.3.8), а также частично поддержана грантом РФФИ № 16-45-340152 п_а.

1. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., Smith K.P., Williams R.G. Water vapor self-continuum absorption in near-infrared windows derived from laboratory measurements // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. D16305.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО ЭФФЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАССЕЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Л.И. Курбачкая¹, А.Ф. Курбацкий²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск, Россия

L.Kurbatskaya@ommgp.ssc.ru

Явная алгебраическая модель рейнольдсовых напряжений и вектора турбулентного потока скаляра (температуры, концентрации) для течений в пограничном слое атмосферы (ПСА) тестируется для нейтрального ПСА. Развитый вариант модели построен на физических принципах RANS (Reynolds Average Navier Stokes) приближения с включением для общего стратифицированного случая трех прогностических уравнений для турбулентной кинетической энергии (ТКЕ), скорости ее диссипации и турбулентной потенциальной энергии (дисперсии турбулентных флуктуаций температуры) и показывает наиболее реалистичное динамическое поведение. В нейтральном ПСА поле скорости не связано с полем скаляра и модель турбулентности для поля скорости упрощается до двух прогностических уравнений (ТКЕ и скорости ее диссипации). Отличительная особенность модели от часто применяемой так называемой «К-эпсилон» модели турбулентности в том, что коэффициент пропорциональности в выражении для вихревого коэффициента диффузии импульса не априорно выбранная константа, а представляет собой выражение, определяемое базовыми постоянными замкнутых прогностических уравнений для рейнольдсовых напряжений ТКЕ и средними градиентами скорости ветра, что позволяет фиксировать высоту ПСА. Модель минимизирует как сложности моделирования турбулентности, так и численную реализацию в задачах моделирования рассеяния загрязнений в окружающей среде [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-01-00125) и комплексной программы фундаментальных исследований СОРАН № П.2П.

1. Курбацкий А.Ф., Курбачкая Л.И. // Метеорология и гидрология. 2006. № 11. С. 19–30.

ФОРМИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ОБСЕРВАТОРИЯХ ЮГА СИБИРИ

В.В. Носов, В.П. Лукин, Е.В. Носов, А.В. Торгаев

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, nosov@iao.ru

Экспериментально и теоретически исследована структура движений воздуха в приземных районах обсерваторий юга Сибири: Байкальской астрофизической и Саянской солнечной обсерваториях Института солнечно-земной физики СО РАН, Сибирской лидарной станции Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.

Экспериментальные измерения проведены с использованием малогабаритной переносной ультразвуковой метеостанции. Теоретические результаты получены путем численного решения нескольких различных краевых задач для уравнений Навье–Стокса. Проведенные исследования дают возможность моделирования процессов формирования турбулентности как в окрестностях расположения астрономических телескопов в обсерваториях, так и внутри закрытых помещений телескопов, а также тестирования в стационарных условиях оптических характеристик телескопов.

Визуализация движений воздуха линиями тока позволяет выполнить анализ влияния конструктивных особенностей телескопа и температурного режима его оптических элементов на устойчивость воздушной среды. Результаты моделирования показывают, что в помещениях телескопов наблюдаются уединенные крупные вихри (когерентные структуры), распад которых порождает когерентную турбулентность. Подтвержден сформулированный нами ранее экспериментальный вывод, что смешивание когерентных структур с разными близкими размерами (и с близкими частотами главных вихрей) дает некогерентную колмогоровскую турбулентность.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-05-05404).

РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ВЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЫМОВЫХ ШЛЕЙФОВ

А.А. Леженин¹, В.Ф. Рапута¹, Т.В. Ярославцева²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, Россия, lezhenin@ommfao.ssc.ru

Спутниковые снимки позволяют оперативно наблюдать траектории шлейфов дыма от труб промышленных предприятий на расстояниях до нескольких десятков километров [1]. При этом ширина дымовых факелов может изменяться в больших пределах. С использованием модели переноса и диффузии примеси, спутниковых наблюдений оптической плотности шлейфа и текущей метеорологической информации можно определять параметры источников выбросов и оценивать характеристики атмосферы [2].

В докладе приводится модель восстановления составляющих скорости ветра и коэффициента вертикального турбулентного обмена в атмосферном пограничном слое. В качестве базовых соотношений применяются уравнения Экмана. Дополнительно используются данные аэрологического зондирования и спутниковые наблюдения траекторий дымовых шлейфов от источников примесей, расположенных в приземном и в пограничном слоях атмосферы.

Верификация численной модели восстановления проведена на известных аэрологических данных Лейпцигского эксперимента. На основе спутниковых наблюдений дымовых факелов от высотных труб ТЭЦ г. Омска представлены результаты расчетов вертикальных профилей компонентов скорости ветра и коэффициента турбулентного обмена. Обсуждаются возможности предлагаемого подхода для анализа процессов загрязнения атмосферы города.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН № 18.

1. Кондратьев К.Я., Григорьев Ал.А., Покровский О.М., Шалина Е.В. Космическое дистанционное зондирование атмосферного аэрозоля. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 216 с.
2. Балтер Б.М., Балтер Д.Б., Егоров В.В., Стальная М.В. // Исследование Земли из космоса. 2014. № 2. С. 55–66.

БАЛАНС ПРЭСНОЙ ВОДЫ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ НА ОСНОВЕ РЕЧНОГО СТОКА В XXI ВЕКЕ

В.И. Кузин¹, Г.А. Платов¹, Н.А. Лаптева^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²ГНЦ ВБ «Вектор», пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия, kuzin@sscc.ru

Рассматриваются результаты моделирования межгодовых изменений пресноводного баланса, которые могут происходить в Северном Ледовитом океане в XXI в. при вариациях речного стока сибирских рек. Расчеты для 11 сибирских рек проводились по модели речного стока и модели циркуляции Северного Ледовитого океана ИВМиМГ СО РАН. Входными данными были результаты совместных моделей INM (Россия), CNRM (Франция), GFDL (США), MIROC (Япония), CMCC (Италия) и CSIRO (Австралия), участвующих в сценарии RCP8.5

проекта CMIP-5 IPCC. Межгодовая изменчивость речного стока в XXI в. имеют общие положительные тенденции при значимых различиях в притоке пресной воды в Карское море и моря Восточной Арктики. В последние десятилетия сток сибирских рек увеличился, что явилось откликом на увеличение осадков при изменении климата Сибири. Расход пресной воды из Северного Ледовитого океана происходит через пролив Фрама и проливы Канадского Архипелага. Эта вода, будучи вынесена в виде льда или потока воды пониженной солености за пределы Северного Ледовитого океана в северные моря Атлантики, является существенным регулятором в формировании термохалинной структуры и меридиональной циркуляции не только Северной Атлантики, но и всего Мирового океана. Будет ли процесс увеличения речного стока, наблюдавшийся в конце XX и начале XXI вв., продолжаться и в дальнейшем, продуцируя обратные связи в климатической системе.

Работа проводилась при поддержке проекта РФФИ № 14-05-00730.

ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИБИРИ В XXI ВЕКЕ

В.И. Кузин¹, Н.А. Лаптева^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²ГНЦ ВБ «Вектор», пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия, lapteva@vector.nsc.ru

Работа посвящена исследованию возможных изменению стока Сибирских рек в XXI в. Исходными данными являются результаты расчетов по десяти моделям программ проекта CMIP-5 программы IPCC. В расчеты включены модели INM (Россия), CNRM (Франция), GFDL (США) и MIROC (Япония), HadGEM (Великобритания), MPI (Германия), CMCC (Италия), MRI (Япония), GISS (США) и CSIRO (Австралия). Как показали расчеты, межгодовая изменчивость речного стока в XXI в. имеет общие положительные тенденции в различных моделях при значимых вариациях в притоке пресной воды в Северный Ледовитый океан. Следующим этапом было проведение анализа гидрологических составляющих, формирующих речной сток. Анализ показал, что наибольший вклад в увеличение гидрологических характеристик дают сезоны зима и осень при умеренном росте весной. Летний период характеризуется отрицательным трендом. В результате эти характеристики определяют общий положительный тренд речного стока в XXI в.

Работа проводилась при поддержке проекта РФФИ № 14-05-00730.

ДИНАМИКА И ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ГИДРОЛОГИИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В XX–XXI вв.

Е.Н. Голубева, В.В. Малахова, Г.А. Платов, М.В. Крайнева, Д.Ф. Якшина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

elen@ommfao.sccc.ru

Основой разрабатываемой системы оценки состояния вод шельфовой зоны моря Лаптевых в ИВМиМГ СО РАН является комплекс вложенных трехмерных численных моделей, включающий региональные модели динамики океана и морского льда различной степени пространственной детализации (от 50 до 5 км) с возможностью уточнения процессов в шельфовой зоне (с использованием сеточного разрешения до 400 м).

Результаты трехмерного моделирования с использованием данных атмосферного реанализа восстанавливают пространственно-временную картину изменчивости водных масс и морского льда Северного Ледовитого океана и морей шельфовой зоны Восточной Сибири. На основе численного моделирования исследуются возможные причины известного из данных наблюдений повышения температуры вод придонного слоя моря Лаптевых. Среди возможных причин появления аномалий придонной температуры в шельфовой области в настоящей работе рассматриваются: а) возможность затока в шельфовую зону теплых вод атлантического слоя СЛЮ, траектория которых проходит по границе шельфовой зоны, б) перераспределение водных масс шельфовой зоны, вызванное сменой режимов циркуляции атмосферы; в) формирование аномалий температуры, обусловленных тепловым стоком рек. Анализируется влияние повышения температуры вод придонного слоя в области мелководного шельфа на усиление процесса деградации подводной мерзлоты региона. Для оценки предполагаемых будущих изменений в регионе в качестве атмосферных условий на поверхности океана использовались результаты расчетов численных климатических моделей, участвующих в сравнительных экспериментах по прогнозу будущего состояния климатической системы. В частности, были использованы данные модели CNRM-CM5, посчитанные для сценария наиболее агрессивного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли.

Получены оценки глубины протаивания, температуры субквальных мерзлых пород на шельфе в условиях современного климата и для прогноза изменения климата в XXI в.

Работа выполнена при поддержке РФФИ №№ 14-05-00730А; 15-05-02457А, German Federal Ministry of Education and Research (BMBF, the project «LenaDNM», grant identifier 01DJ14007).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ВО ВРЕМЯ ВЕСЕННЕГО ЛЕДОХОДА

В.В. Чуруксаева, А.В. Старченко

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, chu.vv@mail.ru

Рассматривается нестационарное изотермическое турбулентное течение воды в реке во время весеннего ледохода. Для решения поставленной задачи была построена новая математическая модель нестационарного двухфазного изотермического движения смеси «вода–ледяные частицы» в открытом русле. Математическая модель строится на основе предположения о сплошности фазы движущегося льда и осредненных по глубине уравнений Рейнольдса для водного потока. В модели учитываются сила плавучести, сила вязкого трения, сила присоединенной массы, сила Кориолиса и сила трения о дно (для несущей фазы) [1]. Численный метод основывается на конечно-объемной аппроксимации уравнений модели на структурированной сетке. Метод является явным по времени и использует схемы высокого порядка для аппроксимации производных по пространственным координатам. Полученная численная модель позволяет проводить расчет в области с подвижными границами и может применяться для моделирования паводков, вызванных образованием ледовых заторов и сезонных разливов, характерных для сибирских рек. Описанный подход реализован для ряда тестовых расчетов, результаты которых анализируются и сравниваются с существующими данными о подобных течениях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 16-41-700178 р_а.

1. *Нигматулин Р.И.* Динамика многофазных сред. Ч. 1. М.: Наука, 1987. 464 с.

О МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР В ЛЕДОВОМ ПОКРОВЕ БАЙКАЛА

Е.А. Цветова

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
e.tsvetova@ommgp.sccc.ru*

Анализируются имеющиеся в литературе гипотезы, объясняющие удивительные явления – огромные кольца на льду Байкала. Их радиусы настолько большие, что наблюдать их можно только с большой высоты. В частности, наибольшее внимание общественности привлекли кольца, увиденные с космической станции в апреле 2004 г. Появление таких колец - не единичное явление, однако заранее предсказать место и время их появления, анализируя архивные космические снимки, не представляется возможным. Грубая привязка по времени все же существует – это весна и тающий лед. Однако заметим, что время появления в наблюдениях может не соответствовать времени образования этой структуры. Среди мест появления можно также грубо обозначить несколько районов, где эти структуры появлялись особенно часто, но одинакового расположения структур пока не было наблюденно.

В литературе имеется несколько гипотез о механизмах формирования кольцевых структур, которые будут рассмотрены в настоящем докладе. Используя методы математического моделирования, автор, вместе с группой коллег [1, 2], поддерживает «гидратную» гипотезу, по которой всплывающие гидраты метана могут быть тем первичным возмущением, которое инициирует зарождение кольцевых структур.

Работа выполняется при поддержке Программ фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П и II.2П/1.3-3, а также РФФИ (грант № 14-01-00125-а).

1. *Гранин Н.Г., Козлов В.В., Цветова Е.А., Гнатовский Р.Ю.* Полевые исследования и некоторые результаты численного моделирования кольцевой структуры на льду оз. Байкал // Докл. РАН. 2015. Т. 461, № 3. С. 343–347.
2. *Tsvetova E.A.* Modeling of hydrodynamics of water-methane heterogeneous system // Proc. SPIE. 9680, 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2015. 968075. DOI: 10.1117/12.2205998.

СРАВНЕНИЕ ДВУХ СХЕМ ПАРАМЕТРИЗАЦИЙ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Н.Н. Богословский, К.А. Алипова

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
bnn@math.tsu.ru, aka@math.tsu.ru*

Снежный покров оказывает значительное влияние на потоки тепла и влаги между земной поверхностью и атмосферой. В настоящее время в задачах метеорологии используются различные параметризации для описания процессов, протекающих в снежном покрове.

В работе проведено сравнение двух параметризаций – ISBA (Interaction Soil Biosphere Atmosphere) [1] и многослойной параметризации снежного покрова.

Одна из параметризаций – схема ISBA – была разработана J. Noilhan и S. Planton в Meteo-France для описания процессов в растительном покрове и деятельном слое подстилающей поверхности. Данная схема включает в себя один слой снежного покрова и минимальное количество параметров, что позволяет существенно сократить время расчетов.

Вторая схема позволяет выбирать необходимое количество слоев в зависимости от поставленной задачи. Многослойная параметризация включает большое количество прогностических переменных, что обеспечивает более точные результаты при моделировании снежного покрова.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 16-41-700178 п_а.

1. *Noilhan J.* The ISBA land surface parameterisation scheme / Ed. J.-F. Mahfouf // *Global and Planetary Change*. 1996. V 13. P. 145–159.

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ СОЛЕПЕРЕНОСА НА СОСТОЯНИЕ ПОДВОДНОЙ МЕРЗЛОТЫ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

В.В. Малахова

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
malax@sccc.ru*

Географическое положение арктических шельфов, регрессии и трансгрессии Мирового океана в плейстоцене – голоцене обуславливают формирование подводной мерзлоты. В работе проведено математическое моделирование динамики толщи субаквальных мерзлых пород на Восточно-Сибирском шельфе. Для расчета температуры в осадочном слое шельфа использовалась модель теплопереноса в донных отложениях с учетом фазовых переходов [1], которая учитывает перераспределение тепла в системе «атмосфера – океан – осадочный слой морского дна».

Проведенное исследование показало, что распределение температуры по глубине в осадочных разрезах морей Восточной Сибири существенно зависит от содержания солей в поровых водах и динамики изменения климата. Увеличение содержания солей в поровых водах приводит к росту толщины верхнего талого слоя современной зоны многолетнемерзлых пород. В связи с неравномерностью засоления шельфа кровля мерзлоты понижается в направлении от берега. Полученная скорость деградации засоленного мерзлого слоя 0–7 см в год согласуется с имеющимися фактическими данными измерений для данного региона.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ №№ 14-05-00730А, 15-05-02457А.

1. *Малахова В.В., Голубева Е.Н.* Оценка устойчивости состояния мерзлоты на шельфе Восточной Арктики при экстремальном сценарии потепления в XXI в. // *Лед и снег*. 2016. Т. 56, № 1. С. 61–72. DOI: 10.15356/2076-6734-2016-1-61-72.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СНЕЖНОЙ АНОМАЛИИ 2004–2010 ГГ. НА ЯМАЛЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ ECHAM5

Н.Ю. Денисова¹, К.Г. Грибанов¹, В.И. Захаров¹, М. Werner²

¹Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, Бремерхафен, Германия
n.denisova@wsibiso.ru

В данных ретроспективного анализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ERA-Interim [1] была обнаружена снежная аномалия на территории полуострова Ямал: было замечено существенное снижение глубины снежного покрова и его плотности в период с 2004 по 2010 г. Полевые работы до этого периода и после зафиксировали перемещение южной границы ареала леммингов на север [2], что является косвенным подтверждением наличия снежной аномалии.

Выполнено дополнительное моделирование климата с помощью модели общей циркуляции атмосферы ECHAM5-wiso [3] с горизонтальным разрешением $1,1^\circ$ по широте и долготе и с шагом по времени равным 6 мин. Моделирование выполнено в режиме релаксации к известным значениям температуры воздуха, давлению на поверхности, завихренности и дивергенции ветра, взятым из данных реанализа ERA-Interim. Проведено сравнение данных, обсуждаются возможные источники надежных данных, подтверждающих наличие снежной аномалии в действительности.

Работа выполнена при поддержке в рамках постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006, проекта № 2189 Минобрнауки РФ и грантов РФФИ №№ 16-51-50064; 15-01-05984а.

1. *ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards.* ECMWF Newsletter 110, Winter 2006/7. URL: http://old.ecmwf.int/publications/newsletters/pdf/110_rev.pdf
2. *Lemmings versus voles: case study from Yamal (Russia).* The Arctic Biodiversity Congress, Trondheim, Norway, December 2–4, 2014.
3. *Roeckner E. et al. The general circulation model ECHAM5. Part I: Model description.* Hamburg: Max Planck Institute for Meteorology, 2003. 127 p.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ МЕТАНА ИЗ СПЕКТРОВ, ИЗМЕРЕННЫХ ОДНОВРЕМЕННО В ТЕПЛОМ И БЛИЖНЕМ ИК-ДИАПАЗОНАХ

И.В. Задворных¹, К.Г. Грибанов¹, В.И. Захаров¹, R. Imasu²

¹Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Japan, i.zadvornykh@wsibiso.ru

Восстановление содержания парниковых газов в атмосфере осуществляется, как правило, из спектров, измеренных спутниковыми сенсорами в теплом и ближнем ИК-диапазонах. Одним из таких сенсоров является TANSO-FTS, размещенный на борту японского спутника GOSAT и проводящий одновременные измерения уходящего излучения в обоих диапазонах.

В данной работе ПО FIRE-ARMS [1] дополнено векторной моделью переноса излучения VLIDORT [2]. Возможен расчет якобианов и формирование сценариев решения обратной задачи. Представлены результаты определения вертикального профиля метана одновременно из спектров обоих диапазонов методом оптимального оценивания, выполнен анализ реализации метода. В качестве статистического ансамбля использовались данные самолетных измерений эксперимента HIPPO [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации (контракт № 02.А03.21.0006) и РФФИ (гранты №№ 15-01-05984А и 16-51-50064).

1. *Gribanov K.G., Zakharov V.I., Tashkun S.A., Tyuterev V.G. A new software tool for radiative transfer calculations and its application to IMG/ADEOS data // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2001. V. 68. P. 435–451.*
2. *Spurr R.J. 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. Transfer. 2006. V. 102, N 2. P. 316–342.*
3. *Wofsy S.C. HIPER Pole-to-Pole Observations (HIPPO): Fine-grained, global-scale measurements of climatically important atmospheric gases and aerosols. Philosophical transactions. Series A. Mathematical, physical, and engineering sciences. 2011. V. 369. P. 2073–2086.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ СИБИРИ ИЗ СПЕКТРОВ IASI И СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СО СТАНДАРТНЫМИ ПРОДУКТАМИ XCH₄ TANSO-FTS/GOSAT И IASI/METOP

М.Ю. Хаматнурова¹, К.Г. Грибанов¹, В.И. Захаров¹, R. Imasu²

¹Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

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

m.kolyasnikova@yandex.ru, kgribanov@remotesensing.ru, v.zakharov@remotesensing.ru, imasu@aori.u-tokyo.ac.jp

Метод Левенберга–Марквардта [1], примененный для восстановления концентрации метана в атмосферном столбе из спектров IASI, был расширен для применения в случае отсутствия априорной статистики профилей метана [2]. В вычислительном эксперименте для восстановления содержания метана в атмосферном столбе использовалось оригинальное ПО FIRE-ARMS [3], адаптированное для предложенного метода решения обратной задачи зондирования атмосферы.

Предложенный метод был апробирован на спектральных данных спутникового сенсора IASI/METOP над территорией Сибири. Проведено сравнение полученных результатов по метану предлагаемым методом со стандартными продуктами TANSO-FTS/GOSAT–CH₄ и IASI–CH₄.

Данные исследования выполнены при финансовой поддержке в рамках постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006, проекта № 2189 Минобрнауки РФ и грантов РФФИ №№ 16-51-50064, 15-01-05984а.

1. Ma C., Jiang L. Some Research on Levenberg-Marquardt Method for the Nonlinear Equations // Applied Mathematics and Computation. 2007. V. 184. P. 1032–1040.
2. Khamatnurova M.Yu., Griбанov K.G. LevenbergMarquardt method with simultaneous calculations of averaging kernels and errors for methane retrieval from IASI spectra // Proc. SPIE. 9680. 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 968071 (November 19, 2015). DOI: 10.1117/12.2205948.
3. Griбанov K.G., Zakharov V.I., Tashkun S.A., Tyuterev V.G. A New Software Tool for Radiative Transfer Calculations and its application to IMG/ADEOS data // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2001. V. 68, N 4. P. 435–451.
4. URL: <http://www.eumetsat.int>
5. URL: <http://www.gosat.nies.go.jp>

МАЛОРАЗМЕРНЫЕ УРАВНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ, МОДЕЛИРУЮЩИЕ ОБРАЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ВОДЯНОГО ПАРА

О.Б. Родимова, Т.Е. Климешина

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, rod@iao.ru, kte@iao.ru

Рассмотрены уравнения химической кинетики, описывающие образование комплексов водяного пара, содержащих не более 4 и 5 молекул H₂O. Ранее [1] был проведен качественный анализ модельных уравнений для этих наборов реакций, получающихся из исходных, если положить все присутствующие в них параметры равными единице. При этих условиях были получены координаты стационарных состояний, определен характер их устойчивости и поведение концентраций комплексов вблизи стационарных состояний.

В настоящей работе приводится описание стационарных состояний и их устойчивости, построение фазовых портретов малоразмерных систем кинетических уравнений с реальными значениями концентраций и скоростей реакций, отвечающих гомогенному образованию молекулярных комплексов в водяном паре. Вообще говоря, качественная картина поведения концентраций в системе с реальными значениями используемых в ней параметров, хотя и совпадает с модельной в окрестности физического стационарного состояния, может иметь некоторые отличия в нефизической области. Это позволяет предположить, что при определенных значениях параметров качественное поведение системы может меняться. Анализ роли реакций различного типа в поведении концентраций комплексов поможет, в перспективе, оценить вклад различных комплексов в континуальное поглощение водяного пара.

В части формулировки задачи и аналитического подхода работа поддержана Программой фундаментальных научных исследований П.10.3.8 (проект ФНИ № 01201354620). Часть, касающаяся численного решения дифференциальных уравнений для определения концентраций молекулярных комплексов в водяном паре, выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10096).

1. Klimeshina T.E., Rodimova O.B. // Proc. SPIE. The XXII International Symposium «Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics». 2016.

КОЭФФИЦИЕНТЫ УШИРЕНИЯ И СДВИГА ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ МОЛЕКУЛЫ ВОДЫ ДАВЛЕНИЕМ ВОДОРОДА В ОБЛАСТИ 7200–9000 cm^{-1}

Т.М. Петрова¹, А.М. Солодов¹, В.М. Дейчули^{1,2}, А.А. Солодов¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
tanja@iao.ru, solodov@iao.ru, dvm91@yandex.ru, asolodov@iao.ru

Проведены исследования коэффициентов уширения и сдвига линий поглощения молекулы воды давлением водорода в области 7200–9000 cm^{-1} . Спектр поглощения молекулы воды был измерен в Институте оптики атмосферы СО РАН с помощью Фурье-спектрометра Bruker IFS 125HR. Спектры регистрировались при комнатной температуре со спектральным разрешением 0,01 cm^{-1} в широком диапазоне давлений водорода (от 0,2 до 1 атм). Для аппроксимации спектральных линий были использованы фойгтовский контур и зависящий от скорости контур Фойгта. Представлено сравнение полученных значений с данными для $\text{H}_2\text{O}-\text{He}$ и $\text{H}_2\text{O}-\text{Ar}$ оптических систем. Получены данные о коэффициентах уширения и сдвига более чем для 400 линий поглощения, причем для многих переходов значения коэффициентов уширения и сдвига были определены впервые. Проведено сравнение с литературными данными, полученными в других спектральных областях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-02-06808.

ОБ ОЦЕНКЕ РОЛИ ck -КОРРЕЛЯЦИИ В РАСЧЕТАХ РАДИАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ИК-ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Ю.В. Богданова¹, О.Б. Родимова²

¹Томский государственный педагогический университет, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Метод рядов экспонент, развиваемый в ИОА СО РАН [1, 2], обладает рядом преимуществ по сравнению с имеющимися в литературе. Так, в нем получены точные формулы для коэффициентов разложения в ряды экспонент, не требующие процедур минимизации. Кроме того, метод позволяет избежать проблемы ck -корреляции [3]. Ранее [4, 5] были рассмотрены оценки приближения ck -корреляции при расчете функций пропускания H_2O , CO_2 и O_2 , которые можно проводить одновременно с расчетом функций пропускания для неоднородных сред. В данной работе получены оценки приближения ck -корреляции в расчетах радиационных потоков для H_2O в плоскопараллельной атмосфере.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН П.10.3.8, № 01201354620.

1. Творогов С.Д. Некоторые аспекты задачи о представлении функции поглощения рядом экспонент // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7, № 3. С. 315–326.
2. Tvorogov S.D., Nesmelova L.I., Rodimova O.B. k -distribution of transmission function and theory of Dirichlet series // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2000. V. 66. P. 243–262.
3. Tvorogov S.D., Zhuravleva T.B., Rodimova O.B., Firsov K.M. Theory of series of exponents and its application for analysis of radiation processes / Eds. A.P. Cracknell, V.F. Krapivin, C.A. Varotsos // Problems of Global Climatology and Ecodynamics: Anthropogenic Effects on the State of Planet Earth, Springer/Praxis, Chichester, Uk, 2008. Chapter 9. P. 211–240.
4. Богданова Ю.В., Родимова О.Б. К вопросу о гипотезе ck -корреляции // Тезисы докладов XXI Рабочей группы «Аэрозоли Сибири». Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2014. 46 с.
5. Bogdanova Yu.V., Rodimova O.B. On the ck -correlation in the 9.6 μm O_3 band // Proc. SPIE. 21th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics Atmospheric Physics. 2015. V. 9680. 03 (9680-79). 8 p.

РАСЧЕТЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ УШИРЕНИЯ И СДВИГА СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ $^{12}\text{CH}_3\text{D}$ В АТМОСФЕРЕ АЗОТА

Н.Н. Лаврентьева¹, А.С. Дударенок¹, Ж.В. Булдырева²

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Institut UTINAM UMR CNRS 6213, Université Bourgogne Franche-Comte, France

lnn@iao.ru, osip0802@sibmail.com

Метан известен как один из наиболее важных парниковых газов земной атмосферы. Определение его концентрации требует точного знания параметров контура линий поглощения, уширенных и сдвинутых, в первую очередь, давлением атмосферного азота. Эти параметры требуются также для моделирования поглощения солнечной радиации, влияющего на интерпретацию спутниковых наблюдений и долгосрочное климатическое прогнозирование. Информация необходима не только для самого метана, но и для его изотополога CH_3D , характеризующегося очень сильным поглощением в окнах прозрачности CH_4 .

В данной работе проведены теоретические оценки коэффициентов уширения и сдвига линий поглощения $\text{CH}_3\text{D}-\text{N}_2$ при комнатной температуре и их температурных показателей в интервале 200–400 К, рекомендованном для базы данных HITRAN [1]. Расчеты были выполнены полуклассическим [2] и полуэмпирическим [3] методами. Первый метод, основанный на модельном потенциале межмолекулярных взаимодействий и точных классических траекториях, позволил получить полуширины, согласующиеся с экспериментом для квантовых чисел $K \leq 7$. Расчеты были повторены другим методом, вводящим эмпирический поправочный фактор и использующим экспериментальные данные для подгонки его параметров. Новые расчеты показали лучшее согласие с экспериментом для высоких K и позволили подготовить списки параметров контура для широкого диапазона квантовых чисел $0 \leq J \leq 70$, $0 \leq K \leq 20$, необходимого для атмосферных приложений.

Авторы благодарят за финансовую поддержку Laboratoire International Associé «Spectroscopie d’Absorption de Molécules d’Intérêt Atmosphérique et planétologique» (LIA-SAMIA) и региональный фонд (the Region of Franche-Comte), Франция.

1. *Wcislo et al.* // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2016. V. 177. P. 75–91.
2. *Buldyreva et al.* // Phys. Chem. Chem. Phys. 2011. V. 13. P. 20326–20334.
3. *Bykov et al.* // Mol. Phys. 2004. V. 102. P. 1653–1658.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОНТУРА ЛИНИЙ $\text{C}_2\text{H}_2-\text{CO}_2$ ДЛЯ ПОЛОСЫ $\text{N}_1 + \text{N}_3$

Н.Н. Лаврентьева¹, А.С. Дударенок¹, Ж.В. Булдырева²

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Institut UTINAM UMR CNRS 6213, Université Bourgogne Franche-Comte, France

lnn@iao.ru, osip0802@sibmail.com

Параметры контура линий $\text{C}_2\text{H}_2-\text{CO}_2$, их точные измерения и теоретическое моделирование необходимы для исследования атмосферы Земли и планет с большим содержанием углекислого газа. Особенно важно в этом случае знать температурную зависимость уширения и сдвига спектральных линий.

Для вычисления коэффициентов уширения и сдвига колебательно-вращательных линий ацетилена, возмущенного углекислым газом, применена полуэмпирическая методика [1], в которой параметры модели определяются из подгонки коэффициентов уширения к нескольким экспериментальным значениям [2]. Эти модельные параметры позволяют впоследствии достаточно точно воспроизвести все измерения и предсказать параметры контуров линий, недоступных экспериментально. Данные были рассчитаны для R - и P -ветвей полосы $\nu_1 + \nu_3$ в широком диапазоне квантовых чисел ($0 < J < 70$), представляющем интерес для атмосферных и астрофизических баз данных.

Авторы благодарят за финансовую поддержку Laboratoire International Associé «Spectroscopie d’Absorption de Molécules d’Intérêt Atmosphérique et planétologique» (LIA-SAMIA) и региональный фонд (the Region of Franche-Comte), Франция.

1. *Bykov et al.* // Mol. Phys. 2004. V. 102. P. 1653–1658.
2. *Povey et al.* // J. Mol. Spectrosc. 2011. V. 268. P. 177–188.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ С УЧЕТОМ Λ -РАСЩЕПЛЕНИЯ В МОЛЕКУЛЕ NO

Ю.Г. Борков, О.Н. Сулакшина

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
son@iao.ru*

Интерес к исследованию спектра оксида азота обусловлен его важной ролью в химии атмосферного озона и в управлении физиологическими процессами, протекающими в любом живом организме, где NO присутствует в достаточно больших концентрациях.

Колебательно-вращательный спектр молекулы является источником данных о внутренних состояниях и физико-химических свойствах молекулы. Извлечение такой информации предъявляет высокие требования к анализу накопленных экспериментальных данных. Выполнить такой анализ всего массива экспериментальных данных позволяет программа, основанная на комбинационном принципе Ритца. В работе выполнен критический анализ 1464 частот колебательно-вращательных переходов, измеренных с учетом Λ -расщепления и собранных из 15 различных публикаций. Выполненный анализ позволил определить 398 экспериментальных уровней энергии в колебательных состояниях $v = 0, 1, 2$ для дублетов основного электронного состояния $^2\Pi$ молекулы NO с точностью 10^{-4} .

АЭРОЗОЛЬ И КЛИМАТ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В.В. Пененко

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
penenko@sscc.ru*

Обсуждаются вопросы исследования климато-экологических проблем урбанизированных территорий, подвергающихся природным и антропогенным воздействиям. Типичные задачи – моделирование мезоклиматов и качества атмосферы городских агломераций на фоне глобальных процессов в условиях Сибири. Для решения прямых и обратных задач этого класса используются модели гидротермодинамики, переноса излучения в системе «атмосфера–Земля», модели переноса и трансформации различных субстанций в газовом и аэрозольном состояниях. Технология моделирования строится на основе вариационных принципов, обеспечивающих согласованное объединение всех этих объектов, построение численных схем и оперативное усвоение данных наблюдений от различных средств мониторинга [1–3].

Работа выполняется при поддержке Программ фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П и П.2П/И.3-3, а также РФФИ (грант № 14-01-00125-а).

1. Пененко В.В., Цветова Е.А., Пененко А.В. Развитие вариационного подхода для прямых и обратных задач гидротермодинамики и химии атмосферы // Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. 2015. Т. 51, № 3. С. 358–367.
2. Penenko V.V., Tsvetova E.A., Penenko A.V. Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies // Computers and Mathematics with Applications. 2014. V. 67, iss. 12. P. 2240–2256. DOI: 10.1016/j.camwa.2014.04.004.
3. Пененко В.В., Цветова Е.А., Пененко А.В. Методы совместного использования моделей и данных наблюдений в рамках вариационного подхода для прогнозирования погоды и качества состава атмосферы // Метеорология и гидрология. 2015. № 6. С. 13–24.

МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В ПРИЗЕМНОМ ВОЗДУХЕ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ РОССИИ: РАЗЛИЧИЯ ЭМИССИЙ И ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

А.А. Виноградова, А.В. Васильева

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
anvinograd@yandex.ru*

Выполнены модельные оценки концентраций черного углерода (black carbon – BC) в воздухе разных районов Российского севера (Кольский п-ов, юго-запад Архангельской обл., Ненецкий, Гыданский и Усть-Ленский заповедники) в 2000–2013 гг. Отдельно анализируются условия зимы и лета, учитывая межгодовые вариации в процессах циркуляции атмосферы в январе и в июле, а также эмиссий BC – антропогенных и от природных пожаров (по оценкам MACCity (http://eccad.sedoo.fr/eccad_extract_interface/JSF/page_login.jsf), GFED (<http://www.globalfiredata.org>) и авторским из [1, 2]) на территории России. Дальний перенос BC в атмосфере рассчитывается, используя метод статистики обратных траекторий (<http://www.arl.noaa.gov>), как описано в [3].

В приземном воздухе большинства северных районов РФ антропогенный BC преобладает над BC от природных пожаров даже летом. Однако в годы аномальных пожаров летом их вклад может оказаться основным. Межгодовые и межсезонные различия велики, поэтому оценки по средним многолетним показателям неинформативны. Результаты измерения содержания BC в воздухе фоновых районов в течение одного сезона или даже одного года, а также в одном пункте не должны быть основой для долгосрочных выводов и прогнозов в отношении всего региона.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (14-05-00059_а и 14-05-93089 Норв_а).

1. *Виноградова А.А.* Эмиссии антропогенного черного углерода в атмосферу: распределение по территории России // *Оптика атмосф. и океана*. 2014. Т. 27, № 12. С. 1059–1065.
2. *Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н., Романовская А.А.* Лесные пожары в Сибири и на Дальнем Востоке: эмиссии и атмосферный перенос черного углерода в Арктику // *Оптика атмосф. и океана*. 2015. Т. 28, № 6. С. 512–520.
3. *Виноградова А.А.* // *Геофизические процессы и биосфера*. 2014. Т. 13, № 4. С. 5–20.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ АТМОСФЕРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Н.Я. Ломакина

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lnya@iao*

Рассматриваются главные закономерности пространственно-временного распределения общего влагосодержания атмосферы над территорией Восточной Сибири в зависимости от сезона, физико-географических и циркуляционных условий. Оценка общего содержания влаги в атмосфере проведена по данным большого числа аэрологических станций за длительный период наблюдений (10 лет) до высоты 30 км и с большим вертикальным разрешением в пограничном слое атмосферы. Исследовано распределение средних значений общего влагосодержания в пограничном слое атмосферы, в тропосфере и в слое 0–30 км в различных физико-географических районах Восточной Сибири.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ОБЬ-ТОМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ (2000–2016 гг.)

Е.М. Панченко

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
pakatya@sibmail.com*

Лесные пожары ежегодно наносят серьезный ущерб окружающей среде. Помимо прямого, экономического ущерба от потери древесины, снижение биоразнообразия, существует и косвенный – в виде выбросов различных продуктов горения в атмосферу: токсичных аэрозолей, парниковых газов. Глобальное изменение климата может привести к увеличению частоты лесных пожаров, расширению ареала их распространения. В настоящее время общепризнано, что одним из основных параметров, определяющих природную пожарную опасность территории, являются характеристики погоды и климата.

Объектом исследования является Обь-Томское междуречье, находящееся рядом с городом Томск. Мы рассчитали коэффициент пожарной опасности для данной территории в период с 2000 по 2016 г. Коэффициент представляет собой кумулятивную сумму произведений температуры воздуха и дефицита влажности (выраженного через разницу температуры воздуха и температуры точки росы) [1].

Суммируя результаты проведенного анализа данных КПО, на рассматриваемом отрезке времени последних 15 лет наблюдается рост коэффициента пожарной опасности. Отсюда, можно сделать основной вывод, что при совокупном воздействии факторов, таких как наблюдающееся потепление регионального климата, изменение гидрологического режима и усиливающееся интенсивное освоение района, как рекреационной пригородной зоны, Обь-Томское междуречье уже необходимо отнести к району, характеризующемуся средней и высокой степенью пожарной опасности.

1. *Мохов И.И., Чернокульский А.В., Школьник И.М.* Региональные модельные оценки пожароопасности при глобальных изменениях климата // *Докл. РАН*. 2006. Т. 411, № 6. С. 808–811.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПАРОВ ВОДЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ ЗЕМЛИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЦИКЛОНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

Г.М. Белокуров

*Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты СО РАН, г. Кемерово, Россия
lesinko-iuxt@yandex.ru, belogeml@rambler.ru*

До исследований атмосферы с помощью зондов считалось, что давление в атмосферном столбе определяет степень увлажнения и прогрева воздуха. Теплый влажный воздух формирует пониженное давление во всем столбе циклона, а холодный сухой формирует повышенное давление во всем столбе антициклона.

Измерения с помощью зондов показали, что средняя температура в тропосфере над циклоном оказалась значительно ниже, чем над антициклоном. Такие данные привели к пересмотру теорий. В новых теориях рождение циклонов и антициклонов – результат динамического взаимодействия атмосферных фронтов. Но у этих теорий нет окончательного ответа на причину распределения температуры и давления внутри циклонических образований, нет критериев для предсказания их развития, и, как следствие, в настоящее время нет общепринятой теории циклонов.

В докладе приводится модель образования циклонических образований на основе электрических свойств воды и водяных паров и их взаимодействием с электрическим полем Земли.

СВЯЗЬ ВНУТРЕННИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН С ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИЕЙ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

А.П. Камардин, С.Л. Одинцов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
kap136@iao.ru, odintsov@iao.ru*

Проведен анализ взаимосвязи проявлений внутренних гравитационных волн (волн плавучести) на эхограммах содара «Волна-4М» с характеристиками устойчивости пограничного слоя атмосферы в теплое время года. Проведено сопоставление эпизодов проявлений ВГВ с профилями потенциальной температуры воздуха в диапазоне высот 0–700 м, полученных с использованием метеорологического температурного профилера МТР-5 (шаг измерений по высоте 50 м, шаг по времени – 5 мин). Рассматривались экспериментальные результаты в июле–сентябре 2015 г. (г. Томск, Академгородок) в интервале 08:00–21:00 местного времени. Основная цель работы заключалась в количественной оценке степени устойчивости атмосферного пограничного слоя, при которой имелись проявления ВГВ.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ «А ОГУРЦОВО» (НОВОСИБИРСК)

Е.С. Каргашова¹, С.В. Зуев¹, Н.П. Красненко^{1,2}

¹*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия
kartashova-lena@mail.ru*

Приводятся результаты расчета средних значений прямой S^r , суммарной Q и рассеянной D радиации по данным автоматизированного актинометрического комплекса (ААК) метеостанции «А Огурцово» (Новосибирск) за теплый период 2015–2016 гг. Полученные значения сравниваются со средними многолетними данными (1960–1980 гг.) энергетической освещенности солнечной радиацией при ясном небе. Отмечается продолжение тенденции увеличения прямой и суммарной интегральной радиации и уменьшения рассеянной радиации, что может быть связано с увеличением прозрачности атмосферы.

ВЛИЯНИЕ СИЛЬНЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ТРОПИЧЕСКИХ ВУЛКАНОВ НА КЛИМАТ ВНЕТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТ

И.В. Боровко¹, В.В. Зуев², В.Н. Крупчатников^{2,3}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт моделирования климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

³Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт Росгидромета
irina@ommfaol.sccc.ru, vvzuev@imces.ru, vkрупчатnikov@yandex.ru

После мощных извержений тропических вулканов в стратосфере наблюдается повышение температур относительно многолетних норм, достигающее нескольких градусов. Наблюдаемые температурные аномалии объясняются поглощением вулканогенным аэрозолем как коротковолновой радиации Солнца, так и длинноволновой восходящей радиации Земли. С помощью спектральной модели общей циркуляции промежуточной сложности проанализирован отклик циркуляции атмосферы на изменения коэффициентов пропускания коротковолновой и длинноволновой радиации в стратосфере. Результаты моделирования показывают существенные различия между реакцией в Северном и Южном полушарии. Показано, что в Северном полушарии преобладает динамическая реакция, связанная с увеличением разности средних температур и давлений между средними и высокими широтами и положительной фазой Североатлантической осцилляции в течение первых двух лет. В южных полярных регионах после тропических извержений приземные температурные аномалии могут наблюдаться в течение десяти лет.

АНАЛИЗ СВЯЗИ КОЛЕБАНИЙ ВЫСОТЫ ТРОПОПАУЗЫ И СТРАТОСФЕРНОГО СЛОЯ ЮНГЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ЛИДАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

В.В. Зуев^{1,2,3}, Е.С. Савельева¹, А.В. Павлинский¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
vvzuev@imces.ru

Лидарные наблюдения аэрозольной стратификации в стратосфере над Томском проводятся уже 30 лет. За этот длинный период фоновое состояние стратосферного аэрозоля, характеризующее слой Юнге, достигалось на относительно коротком промежутке с 2002 по 2005 г. Мы сравнили результаты лидарных наблюдений в этот период и период с 1987 по 1991 г., который ранее считался близким к фоновому, и нашли ряд противоречий. В частности, это касалось наблюдаемых согласованных колебаний высоты тропопаузы и максимума стратосферного аэрозольного слоя. Внутригодовой ход этих параметров характеризовался общим максимумом, приходящимся на летний период. При этом следует отметить, что период 1987–1991 гг. в основном соответствовал западной фазе квазидвухлетних колебаний стратосферной циркуляции. В этой фазе усиливается меридиональный перенос аэрозолей из тропического резервуара в высокие широты в зимний период. Лидарные наблюдения, проводимые в фоновый период 2002–2005 гг., полностью согласуются с циркуляцией Брюера–Добсона. Проанализировав колебания высоты максимума аэрозольного слоя в тропическом резервуаре (по данным лидара, расположенного на Гавайях) и высоты тропической тропопаузы, мы пришли к выводу, что внутригодовые колебания этих параметров в средних широтах должны быть противофазными в противоположность тому, что регистрировалось в период 1987–1991 гг.

В докладе обсуждаются причины этого рассогласования.

КРУПНОМАСШТАБНОЕ ЗАДЫМЛЕНИЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И БЕЛОРУССИИ В ИЮЛЕ 2016 г.

Г.И. Горчаков¹, С.А. Ситнов¹, Е.Г. Семутникова², В.М. Копейкин¹, А.В. Карпов¹, А.А. Исаков¹,
И.А. Горчакова¹, Н.В. Панкратова¹, Т.Я. Пономарева³, Г.А. Кузнецов¹, О.В. Лоскутова⁴,
Е.А. Козловцева², К.В. Родина²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

³Гидрометцентр РФ, г. Москва, Россия

⁴Московский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Россия
gengor@ifaran.ru

В период с 24.07 по 27.07.2016 г. в московском регионе наблюдалось повышенное аэрозольное загрязнение атмосферы (PM_{2.5} и PM₁₀), что было подтверждено данным нефелометрических измерений на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы.

Анализ данных спутникового мониторинга (спектрометр MODIS на спутниках Aqua и Terra) показал, что в указанный период времени масштабы задымления оказались сопоставимыми с задымлениями европейской территории России в 2002 и 2010 гг. [1, 2].

По данным AERONET оценены микроструктура и радиационные характеристики дымового аэрозоля. Получено пространственное распределение аэрозольного радиационного форсинга на верхней и нижней границах атмосферы.

Работа частично поддержана РФФ (грант № 14-47-00049).

1. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Шужуров К.А. Исследование состава задымленной атмосферы Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г. // Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. 2004. Т. 40, № 3. С. 366–380.
2. Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г., Чубарова Н.Е., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Лезина Е.А., Задорожная О.С. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля задымленной атмосферы московского региона в 2010 г. // Докл. РАН. 2011. Т. 437, № 5. С. 686–690.

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРЕДЕЛАХ ТУНКИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

О.С. Чупина¹, Н.Н. Воропай^{2,3}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

³Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
chupina.ru.3@mail.ru, voropay_nn@mail.ru

При изучении климатических, погодных условий и физических процессов в атмосфере горных районов, исследователи в настоящее время сталкиваются с определенными трудностями. Это вызвано, прежде всего, недостатком имеющейся в распоряжении информации. В рамках комплексных географических исследований ИГ СО РАН с 2009 г. на склонах Тункинской котловины (р. Бурятия) ведутся наблюдения за температурой воздуха с помощью электронных термодатчиков DS-1922 [1]. Семь модельных площадок расположены в диапазоне высот от 720–2000 м над ур. м. на южном макросклоне Тункинской котловины. В работе использованы данные натуральных автоматических наблюдений за 2009–2015 гг. и аэрологические данные шести станций за тот же период.

Проведено сравнение средней месячной температуры воздуха на изобарических поверхностях, рассчитанной В.В. Севастьяновым за 1961–1971 гг. методом весовых коэффициентов на основе регрессионных уравнений [2], температур за 2009–2015 гг., рассчитанных по той же методике и данных натуральных измерений на южном макросклоне Тункинских гольцов. Согласно расчетным данным в свободной атмосфере (выше 1500 м) температурный режим мало изменился. Разницы между рассчитанными температурами за период (2009–2015 гг.)

и измеренными за 2013 г. на склоне летом составляют менее 0,5 °С, зимой могут достигать 10 °С. Возможно, при использовании весовых коэффициентов за конкретный, например 2013, год отклонения расчетных температур будут меньше.

1. *Гигрохрон* [Электронный ресурс] URL: <http://www.elin.ru> (дата обращения 15.04.2013).
2. *Севастьянов В.В.* Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1998. 201 с.

АНОМАЛЬНО ТЕПЛОЕ ЛЕТО 2016 г. В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ?

В.Г. Аршинова, М.Ю. Аршинов, Т.М. Рассказчикова

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
arvi@iao.ru

В связи с глобальным потеплением важно знать, как изменяется температурный режим, и какие процессы влияют на него в отдельно взятых регионах. По данным TOR-станции, расположенной на восточной окраине г. Томска на Станции высотного зондирования атмосферы ИОА СО РАН, среднемесячная температура июня, июля и августа 2016 г. была не выше нормы. Однако бытует устойчивое мнение, что лето в Сибири было аномально теплым. В данной работе было проведено исследование синоптических процессов, влиявших на погоду этим летом в данном регионе. Также был проведен анализ обратных траекторий воздушных масс, господствовавших над Западной Сибирью летом 2016 г., с использованием модели NYSPLIT.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №14-05-00590).

1. *Климат Томска* / Под ред. Ц.А. Швер. Л.: Гидрометиздат, 1982. 176 с.
2. *Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Поднебесных Н.В.* Циркуляция атмосферы над Западной Сибирью в 1976–2004гг. / Метеорол. и гидрол. 2007. № 5. С. 28–36.

СТАТИСТИКА ГРАДИЕНТОВ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

И.В. Невзорова, А.П. Камардин, С.Л. Одинцов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
nevzorova@iao.ru

Представлены результаты анализа вертикальных градиентов потенциальной температуры воздуха, полученных с использованием метеорологического температурного профиломера МТР-5. Профиломер был размещен на крыше одного из лабораторных корпусов ИОА СО РАН (г. Томск, Академгородок). Для анализа использовались измерения с сентября 2015 г. по сентябрь 2016 г. Шаг измерений по высоте составлял 50 м. Шаг по времени – 5 мин. Основная цель работы заключалась в статистических оценках градиентов температуры на разных уровнях в пределах высот до 500 м. Градиенты температуры были разделены на типы, и для каждого типа оценена их повторяемость в разные сезоны года на разных высотах.

ЗАВИСИМОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ТЕПЛА ОТ ВЫСОТЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ

В.А. Гладких, С.Л. Одинцов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
glvl@iao.ru

Представлены результаты вычисления вертикального турбулентного потока тепла на основе измерений температуры воздуха и компонентов вектора ветра ультразвуковыми метеостанциями на высотах 5 и 10 м на территориях обсерваторий ИОА СО РАН «БЭЖ» (пригород Томска) и «Фоновая» (сельская местность, берег реки Обь, большая поляна, окруженная лесом). Основная цель исследований заключалась в оценке зависимости потока тепла от высоты в разные сезоны года. Рассмотрена также связь потока тепла с дисперсиями температуры воздуха и компонентов вектора ветра на разных уровнях измерений.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТУРБУЛЕНТНЫЙ ПОТОК ИМПУЛЬСА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

В.А. Гладких, С.Л. Одинцов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
glvl@iao.ru*

Обсуждаются результаты экспериментальных оценок вертикального турбулентного потока импульса (смешанного момента пульсаций продольной и вертикальной составляющих вектора ветра) в приземном слое атмосферы над подстилающей поверхностью на открытой местности. Экспериментальные данные получены с использованием ультразвуковых метеостанций. Рассмотрена статистика потока импульса в разные сезоны года на высотах 5 и 10 м. Проведен анализ величин потока при разной стратификации приземного слоя. Особое внимание уделено анализу случаев с положительными значениями потока импульса.

ВНЕШНИЕ МАСШТАБЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ И ВЕТРОВОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ

В.А. Гладких, С.Л. Одинцов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
glvl@iao.ru*

Проведен анализ внешних масштабов температурной и ветровой турбулентности. Внешний масштаб ветровой турбулентности оценивался по модулю горизонтального ветра. Для определения масштабов использовалась их связь со структурными характеристиками и дисперсиями температуры воздуха и модуля скорости. Оценки масштабов проводились по результатам работы ультразвуковых метеостанций на территориях обсерваторий ИОА СО РАН «БЭК» (пригород Томска) и «Фоновая» (сельская местность, берег реки Обь, большая поляна, окруженная лесом).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНОГО МАКСИМУМА ТЕМПЕРАТУРЫ В КАНАДСКОМ БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Д.Ф. Якшина, Е.Н. Голубева

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
iakshina.dina@gmail.com*

Одной из характеристик вертикальной стратификации вод Северного Ледовитого океана (СЛО) является приповерхностный температурный максимум (ПТМ), регистрирующийся в океанических областях, покрытых льдом в летний период. Данные наблюдений, имеющиеся в открытом доступе (<http://www.whoi.edu/page.do?pid=20781>), регистрируют возникновение ПТМ в летний период и его дальнейшее исчезновение.

В представляемой работе исследуются возможные физические процессы, приводящие к образованию ПТМ на основе трехмерной численной модели СЛО. Результаты численного эксперимента показывают, что основным физическим механизмом является коротковолновая радиация, проникающая под ледяной покров в верхний слой моря.

В численном эксперименте при учете проникающей радиации появление подповерхностного максимума температуры происходит в летний период при сокращении толщины льда до 2 м. Его постепенное разрушение происходит в течение осеннего сезона за счет процесса интенсивного вертикального перемешивания.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№№ 16-05-00558; 14-05-00730; 16-35-00439).

ПЕРЕНОС ИЗЛУЧЕНИЯ В БЕЗОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ В УФ-КАНАЛАХ ФОТОМЕТРА SPM

А.А. Размоллов, К.М. Фирсов

*Волгоградский государственный университет, Россия
alek.razmolov2010@yandex.ru*

В настоящее время солнечная фотометрия широко применяется для дистанционного зондирования атмосферы. Одним из основных компонент атмосферы является аэрозоль. Он оказывает огромное влияние на климат и требует регулярных наблюдений. Современные приборы обеспечивают спутниковый и наземный мониторинг аэрозольной оптической толщи (АОТ). В регионе Нижнего Поволжья с 2011 г. начаты измерения АОТ с использованием 12-канального фотометра SPM, разработанного в ИОА СО РАН. Однако до настоящего времени использовались лишь 10 спектральных каналов 339, 373, 439, 499, 673, 871, 939, 1044, 1555 и 2139 нм. Для того чтобы задействовать УФ-каналы с центрами на длинах волн 305 и 325 нм было проведено моделирование переноса солнечного излучения в этих спектральных каналах. В процессе моделирования были построены зависимости функции пропускания от поглощающей массы озона и аэрозоля. Проведено сопоставление сигналов, полученных в результате измерения и моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-45-340152 р_а.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Н.А. Шефер, А.П. Ростов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
shefer@iao.ru*

Приводятся результаты экспериментов, проведенных с целью исследования турбулентных потоков импульса, тепла, влаги и аэрозоля в приземном слое атмосферы. В процессе автоматизированных измерений осуществлялось накопление данных о турбулентных характеристиках различных метеопараметров в приземном слое атмосферы. Были проведены синхронные измерения флуктуаций трех компонент скорости ветра, флуктуаций температуры, пульсаций абсолютной влажности, пульсаций коэффициента аэрозольного рассеяния при различных термодинамических состояниях приземного слоя воздуха. На основе полученной экспериментальной информации рассмотрено синхронное поведение статистических характеристик измеряемых субстанций и их турбулентных потоков и результаты их комплексной обработки и анализа.

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОГРАНИЧЕННОСТИ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ НА РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС АТМОСФЕРЫ

Б.В. Горячев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
bvg@tpu.ru*

Рассмотрен перенос оптического излучения в пространственно ограниченной дисперсной среде. Получены аналитические выражения для определения величины отражательной способности, коэффициентов пропускания и поглощения дисперсной среды. Показано, что оптические размеры среды существенно влияют на радиационный баланс, однако при определенных размерах составляющие баланса становятся постоянными. Методика расчета радиационного баланса учитывает взаимодействие между облаками. Установлено, что существует область оптических размеров облаков, при которых радиационное взаимодействие между ними максимально и определяется индикатрисой рассеяния излучения.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ СО СПУТНИКА TIMED С ТЕМПЕРАТУРОЙ ОН(6–2) И O₂(0–1) СУБАВРОРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ МЕЗОПАУЗЫ

А.М. Аммосова, П.П. Аммосов, Г.А. Гаврильева, И.И. Колтовской

*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия
AmmosovaAM@mail.ru*

В последнее время, с развитием методов исследования верхней атмосферы со спутников, появилась возможность сравнить наземные измерения температуры области мезопаузы со спутниковыми данными, которые могут способствовать взаимной калибровке всей мировой сети приборов. Сопоставлять температуры, полученные наземным прибором, с данными со спутника – весьма сложная задача. Необходимо сопоставление в длительном временном ряде, охватывающем 11-летний солнечный цикл, который позволяет наиболее точно оценить возможные различия в измерениях наземных приборов и данных со спутника. В своей работе мы используем измеренные наземные данные о вращательной температуре ОН(6–2) и O₂(0–1) в период времени с 2002 по 2014 гг. Было найдено 997 случаев измерений, совпадающих по времени и пространству, для данных радиометра SABER и ОН(6–2) и 857 случаев измерений – для O₂(0–1). Температуры, полученные радиометром SABER, выше, чем температуры, полученные спектрографом на ст. Маймага. Также существует сезонная зависимость разности температур. На основании проведенного анализа сделан вывод, что ряды вращательных температур гидроксила полосы (6–2) и кислорода первой атмосферной полосы, полученные спектрографом, могут быть использованы для исследования колебаний температуры различных временных масштабов, в том числе и долговременных трендов, на высоте области субавропальной мезопаузы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №№ 16-35-00121 мол_а, 16-35-00204 мол_а, 15-05-05320 А.

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВЕСЕННЕГО УСКОРЕНИЯ СЕВЕРНОГО ЦИРКУМПОЛЯРНОГО ВИХРЯ ПОСЛЕ КРУПНЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ТРОПИЧЕСКИХ ВУЛКАНОВ

Е.С. Савельева¹, В.В. Зуев^{1,2,3}, Н.Е. Зуева¹

¹*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

³*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
kapitosh89@gmail.com*

Решающую роль в образовании полярной весенней озоновой аномалии играет активность стратосферного циркумполярного вихря в весенний период. Северный циркумполярный вихрь имеет максимальную скорость в середине зимы, в конце зимы он, как правило, начинает замедляться и разрушается весной. Разрушение циркумполярного вихря в весенний период приводит к притоку в полярную область теплых, богатых озоном воздушных масс, способствующих таянию полярных стратосферных облаков (ПСО) и накоплению стратосферного озона в арктической области. В свою очередь при весеннем ускорении циркумполярного вихря в его пределах при низких температурах сохраняются ПСО, необходимые для эффективного протекания всего цикла гетерогенных и фотохимических реакций разрушения стратосферного озона с появлением в полярном регионе солнечного излучения в начале весны.

Как правило, после крупных извержений тропических вулканов происходит потепление тропической стратосферы и похолодание нижней тропической тропосферы. Потепление тропической стратосферы, произошедшее в зимне-весенний период, приводит к усилению стратосферного меридионального градиента, что способствует ускорению северного циркумполярного вихря. В свою очередь похолодание нижней тропической тропосферы приводит к ослаблению тропосферного меридионального градиента, и тем самым уменьшению потока Элиассена-Пальма, активность которого способна приводить к разрушению циркумполярного вихря в период с января по февраль. В докладе анализируется удельный вес каждого из этих двух факторов в весеннем ускорении северного циркумполярного вихря после крупных извержений тропических вулканов.

АНТРОПОГЕННЫЙ АЭРОЗОЛЬ

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В АТМОСФЕРЕ НАД СЕВЕРНЫМ ПОБЕРЕЖЬЕМ ЕВРАЗИИ: МЕЖГОДОВЫЕ ВАРИАЦИИ ЗИМОЙ И ЛЕТОМ

Ю.А. Иванова, А.А. Виноградова

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
anvinograd@yandex.ru*

Изучаются межгодовые вариации уровня антропогенного загрязнения приземного воздуха северных районов России, связанные с вариациями направлений переноса воздушных масс. Рассматривается перенос воздуха и тяжелых металлов зимой (январь) и летом (июль) в 2000–2013 гг. к четырем пунктам, расположенным на территориях природных заповедников на побережье Северного Ледовитого океана – от Кольского полуострова до дельты р. Лена. Для анализа привлечены индексы атмосферной циркуляции и данные о выбросах в атмосферу загрязняющих веществ в городах и регионах России. Оценены концентрации семи тяжелых металлов (ТМ) в приземном воздухе в рассматриваемых арктических районах, обсуждаются их межгодовые, пространственные и сезонные вариации. Сильная межгодичная изменчивость циркуляции атмосферы по-разному влияет на вариации загрязненности атмосферы различными антропогенными тяжелыми металлами в разных районах российского севера. Для каждого пункта в разные годы соотношения концентраций рассмотренных ТМ разные. Для ТМ, имеющих наиболее удаленные источники, межгодовые и сезонные вариации уровня загрязненности максималны. Таким образом, результаты измерения содержания антропогенных примесей в воздухе фоновых районов в течение одного сезона или даже одного года не должны быть основой для долгосрочных выводов и прогнозов. Также неправомерны общие выводы об уровне загрязнения окружающей среды, которые сделаны по результатам наблюдения за одной примесью и/или только в одном месте.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00059_a).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИДРОКСИДА БЕРИЛЛИЯ

Ю.И. Обвинцев, Д.П. Губанова, В.М. Минашкин

*Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Корнова, г. Москва, Россия
minash@nifhi.ru*

В рамках проекта «Разработка инновационной технологии получения бериллийсодержащих концентратов и гидроксида бериллия из минерального и техногенного сырья» предлагается переработка руды Ермаковского месторождения с использованием щелочной автоклавной технологии. Контроль за выбросами из аппаратов частиц, содержащих бериллий, необходим, поскольку такие частицы очень токсичны (разовая ПДК бериллия составляет 1 мкг/м^3) [1], и в аварийной ситуации они будут представлять основную опасность здоровью людей.

Целью данной работы являлось рассмотрение процессов, приводящих к образованию бериллийсодержащих аэрозольных частиц, оценка дисперсного состава получающихся частиц и определение мест расположения и состава контролирующего оборудования. В работе рассмотрены процессы, протекающие в автоклавах и на стадии фильтрации при промывке кека. В этих процессах возможны аварийные выбросы аэрозолей при повышении температуры выше критической. Для наглядного представления процессов, протекающих при испарении капли жидкости, предложена диффузионная модель, основанная на равенстве количества тепла, затраченного на испарение и количества тепла, поступающего от окружающей среды. Модель позволяет в зависимости от условий окружающей среды определять скорость испарения, температуру, размер и время жизни капли.

Показано, что в случае аварии автоклава, высокая температура пульпы приведет к ее вскипанию и разбрызгиванию. При разбрызгивании образуются крупные капли, которые после испарения воды дадут крупнодисперсные частицы, а при кипении в результате разрыва пленки пузырями образуются субмикронные частицы, которые и представляют основную опасность.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Рациональное природопользование» по проекту «Разработка и изготовление экспериментальных образцов блоков контроля выбросов и сбросов загрязняющих веществ при производстве гидроксида бериллия».

1. *Вредные вещества в промышленности*. Изд. 6-е, в 3 т. / Под ред. Н.В. Лазарева, Э.Н. Левиной. М.: Химия, 1971. Т. 3.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

Н.Е. Брусова¹, И.Н. Кузнецова¹, М.И. Нахаев¹, Е.Н. Кадыгров²

¹Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

²ЦАО, г. Долгопрудный, Московская обл., Россия
nbrusova@mecom.ru, ldz@cao-rhms.ru

В опережающее потепление крупных городов на фоне глобальных климатических изменений основной вклад вносят антропогенные выбросы тепла. С позиций оценки чувствительности глобальных изменений к выбросам антропогенного тепла в крупных городах важны все результаты изучения мощности тепловой волны, характеристик ее пространственной и временной изменчивости. Изучение ОГТ, как правило, ограничено малой плотностью синхронизированных измерений над городскими и сельскими районами. Московский регион имеет наиболее представительную сеть наземных измерений температуры (в столице и в области – более 20 станций); данные этой сети (2012–2015 гг.) использованы для оценки интенсивности антропогенного влияния на термический режим приземного атмосферного слоя. Пространственная и временная изменчивость антропогенного влияния оценивалась по результатам расчетов разности температуры (ΔT_i) между станцией в центре Москвы (Балчуг) и температурой на других 20 станциях, расположенных на периферии города, в ближних и удаленных пригородах, а также на фоновой территории – на расстоянии до 150 км от центра города. Получены и обсуждаются статистические характеристики (ΔT_i), включая частоту и условия формирования максимально выраженного теплового пятна московского мегаполиса на фоне регионального поля температуры.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ОКРЕСТНОСТЯХ НОВОСИБИРСКОГО ЭЛЕКТРОДНОГО ЗАВОДА

В.Ф. Рапута¹, В.В. Коковкин², С.В. Морозов³, О.В. Шуваева², Т.В. Ярославцева⁴

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Новосибирский институт органической химии СО РАН, Россия

⁴Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, Россия
raputa@sccc.ru

Для численного моделирования атмосферных выпадений примесей в окрестностях промышленных предприятий требуется информация о пространственном распределении и мощности источников, функциях распределения спектров размеров частиц, которая, как правило, отсутствует. В этом случае возникает необходимость использования данных мониторинга загрязнения и постановок соответствующих обратных задач переноса аэрозольных примесей в приземном и пограничном слоях атмосферы с учетом дополнительных априорных сведений о характеристиках источников и дисперсном составе примесей.

В докладе обсуждаются результаты полевых и химико-аналитических исследований многокомпонентного загрязнения снежного покрова в окрестностях Новосибирского электродного завода (НЭЗ), выполненных в 2016 г. Для количественной интерпретации данных маршрутных наблюдений использована малопараметрическая модель реконструкции полей выпадений [1]. Установлено, что основные выпадения полиароматических углеводородов происходят от высотных труб обжигового цеха в составе крупнодисперсных фракций частиц и являются весьма значительными. Численный анализ данных наблюдений содержания ряда тяжелых металлов и компонентов ионного состава показал, что их поступления происходят от более низких источников НЭЗ. Парный корреляционный анализ позволил подтвердить их принадлежность единому источнику. Приведены

оценки суммарных выпадений от НЭЗ различных компонентов примесей в зимнем сезоне 2016 г. и сравнения с данными предыдущих исследований.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН № 18.

1. Рапута В.Ф., Шлычков В.А., Леженин А.А., Романов А.Н., Ярославцева Т.В. Численный анализ данных аэрозольных выпадений примесей от высотного источника // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 8. С. 713–718.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЕЙ ВЫПАДЕНИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

Т.В. Ярославцева¹, В.Ф. Рапута²

¹Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, Россия

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
tani-ta@list.ru

Аэрозольные выпадения примесей в окрестностях крупных городов и промышленных площадок являются значимым источником поступления соединений тяжелых металлов и химических элементов в почвы сельскохозяйственного назначения. Атмосферный перенос химических загрязнений за пределы города может изменять и состав поверхностных вод. По содержанию химических соединений в снеговом покрове можно оценивать степень загрязнения атмосферного воздуха.

Обсуждаются результаты мониторинга загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами и химическими элементами в окрестностях г. Москвы [1]. С использованием акустических измерений повторяемости направлений ветра за пятилетний период времени в слое воздуха 40–500 м над Москвой и модели реконструкции полей регионального переноса примесей проводится численный анализ данных наблюдений [2, 3]. Результаты проведенного численного анализа данных мониторинга загрязнения снежного покрова Московской области показали существование количественных закономерностей формирования полей аэрозольных выпадений цинка. Основной выброс примеси производится г. Москвой, как площадным источником. Показано, что для проведения оценивания полей выпадений требуется весьма ограниченное количество опорных точек наблюдений.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН № 18.

1. Ермаков А.А., Карпова Е.А., Мальшева А.Г., Михайлова Р.И., Рыжова И.Н. // Гигиена и санитария. 2015. № 5. С. 31–36.
2. Локощенко М.А. // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 5–15.
3. Рапута В.Ф., Олькин С.Е., Резникова И.К. Методы численного анализа данных наблюдений регионального загрязнения территорий площадным источником // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 6. С. 558–562.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭЦ В АТМОСФЕРЕ ГОРОДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.Э. Степанова, А.С. Огулов, А.С. Юдин, О.Д. Турбинская, Т.В. Ярославцева

Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, Россия
ngi@niig.su

В силу климатических особенностей Сибири наличие теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) является повсеместным. Воздействие на население их атмосферных выбросов и конкретного химического и дисперсного состава примесей проявляется практически на всей территории населенных пунктов. Использование в качестве топлива на ТЭЦ каменного угля, содержащего значительные количества минеральных примесей, значительно усугубляет проблему безопасности для здоровья населения городов Сибири [1].

В докладе проводится анализ материалов инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от ТЭЦ в атмосферный воздух городов Новосибирска, Омска, Томска. На его основе дана гигиеническая оценка опасности аэрозольных компонентов выбросов. Установлено ранговое место различных примесей в валовом выбросе загрязняющих веществ. В соответствии с методологией оценки риска для здоровья населения определены уровни индивидуального и популяционного риска канцерогенных и не канцерогенных эффектов вредного действия на критические органы и системы организма человека от аэрозольных выбросов ТЭЦ.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР института гигиены в рамках отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора на 2016–2020 гг. «Гигиеническое научное обоснование минимизации рисков здоровью населения России».

1. Гичев Ю.П., Турбинский В.В., Бурлов Ю.П. // VI рабочая группа «Аэрозоли Сибири»: Тезисы докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 1999. С. 43.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ САЖЕВОГО И СУБМИКРОННОГО АЭРОЗОЛЯ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ В 2014–2016 гг.

В.М. Копейкин¹, М.А. Свириденков¹, А.С. Емиленко¹, А.А. Исаков¹, О.В. Лоскутова², Т.Я. Пономарева³

¹Институт физики атмосферы им. Обухова РАН, г. Москва, Россия

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия

³Государственное учреждение «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия
kopeikin@ifaran.ru

Для исследования изменчивости антропогенного загрязнения Московского региона и его источников проведены измерения массовой концентрации сажи (Black Carbon) и субмикронного аэрозоля в центре г. Москвы и в 2 пунктах на Звенигородской научной станции. Наблюдения, осуществлены в апреле, сентябре – октябре 2014 г., в июле и сентябре – октябре 2015 г., а также в апреле – мае 2016 г. Проведено сравнение полученных результатов с данными комплексных измерений периода 1989–2013 гг.

Выявлены случаи повышения загрязнения атмосферного воздуха дымами от горевших торфяников в Брянской области и дымами при сжигании пораженных короедом деревьев в лесах Московской области, а также приходом дымов от лесных пожаров в Сибири. Значительное увеличение интенсивности автомобильного движения вблизи пункта измерения на ЗНС, расположенного в 50 м от дороги, привело в последние годы к повышению уровня загрязнения аэрозольными компонентами в 2–3 раза. Во втором пункте, удаленном от дороги на расстояние 1 км, уровень загрязнения сажей сравним с данными, полученными в 90-е гг. XX в. и ниже, чем в Москве, приблизительно в 3 раза.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 16-05-00985).

МОНИТОРИНГ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ТЕРРИТОРИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.В. Коковкин^{1,5}, В.Ф. Рапуга², С.В. Морозов^{3,5}, Т.В. Ярославцева⁴

¹Институт неорганической химии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Новосибирский институт органической химии СО РАН, Россия

⁴Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, Россия

⁵Новосибирский государственный университет, Россия
basil@niic.nsc.ru

Одним из эффективных способов экспериментального исследования процессов атмосферного переноса органических соединений (ОС) является изучение состава снежного покрова, как естественного планшета-накопителя, в окрестностях источников различной пространственно-временной структуры. В докладе приводятся результаты полевых, химико-аналитических и численных исследований снежного покрова в окрестностях таких источников, как: угольные котельные и ТЭЦ, коксохимические заводы, автомагистрали, нефтегазовые факела и т.п. Обсуждаются результаты сопряженных исследований в воздухе и снеге содержания различных сопутствующих друг другу компонентов ОС на территориях крупных городов юга Западной Сибири, включая Новосибирск, Кемерово, Барнаул, Томск. Эти исследования показали наличие значимых линейных корреляционных связей между концентрациями сажи и бенз-а-пирена в атмосфере городов и содержанием бенз-а-пирена в снеговых пробах. Предложены малопараметрические модели оценивания полей аэрозольных выпадений примесей от точечных, линейных и площадных источников. Их апробация проведена полученных экспериментальных данных.

Приведены результаты совместного численного анализа данных наземных и спутниковых наблюдений распространения сажевых следов от вышеперечисленных источников. Использование спутниковых снимков позволило установить функциональные связи с данными мониторинга загрязнения снежного покрова.

Полученные закономерности позволяют создать экономичную систему мониторинга ОС и получить детальную оценку состояния длительного загрязнения атмосферы города в зимнее время. Они могут быть использованы для оперативного выявления зон высокого загрязнения территорий городов и оценок риска здоровью населения, послужить основой для установления нормативных критериев (ПДК) загрязнения снега.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН № 18.

МЕЖДУГОДИЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ЧЕРНЫМ УГЛЕРОДОМ В РЕГИОНЕ ПЕКИНА В ОСЕННИЕ ПЕРИОДЫ С 2003 ПО 2015 Г.

М.А. Свириденков¹, А.С. Емиленко¹, В.М. Копейкин¹, Ван Генчень²

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

²Институт физики атмосферы АН Китая, Пекин, Китай
sviridenkov@ifaran.ru

Анализируются результаты круглосуточных синхронных измерений субмикронного аэрозоля и черного углерода (BC), выполненных в период с 2003 по 2015 г. в Пекине и на фоновой горной обсерватории Синлун. Цель исследований – выявить особенности междугодичной изменчивости этих составляющих атмосферного аэрозоля и выделить роль городских источников аэрозольного антропогенного загрязнения атмосферы.

В измерениях в 2015 г. использовался счетчик частиц GRIMM 180. Прибор позволяет измерять концентрацию частиц в диапазоне диаметров частиц 0,25–32 мкм, а также концентрации PM₁, PM_{2,5} и PM₁₀. Результаты измерений показали, что более 90% массовой концентрации частиц в осенний период 2015 г. приходится на PM₁. Анализ измерений, выполненных с помощью счетчика в 2015 г., дополнил результаты, полученные обращением данных поляриметрических измерений в предыдущие годы, и позволил выделить ситуации, когда доминирует грубодисперсная фракция аэрозоля. Выявлено, что грубодисперсная и субмикронная фракции характеризуются различной временной изменчивостью как внутрисуточной, так и на синоптических временных масштабах. Ситуации с повышенными уровнями антропогенного аэрозольного загрязнения обусловлены, в значительной мере, ростом концентрации частиц в первом канале счетчика. Подтверждены установленные ранее высокая корреляция между концентрациями частиц с радиусами 0,1–0,2 мкм и BC и тенденция к снижению доли сажевого аэрозоля с ростом замутненности атмосферы, что свидетельствует о ведущей роли внутриатмосферных процессов в формировании антропогенного аэрозольного загрязнения.

Анализ данных многолетних измерений показывает, что основной вклад в концентрацию BC в осенние периоды в Пекине вносят городские источники антропогенной эмиссии, их интенсивность существенно уменьшилась с 2003 по 2015 г. Величина региональной добавки в содержание субмикронного аэрозоля зависит от метеорологических условий и антропогенной активности в секторе, расположенном южнее Пекина на расстоянии 100–500 км от столицы Китая.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (Проект № 16-05-00985_a).

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОМПОНЕНТ ТЕНЗОРА КОЭФФИЦИЕНТОВ ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФфуЗИИ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

К.Ю. Суковатов, Н.Н. Безуглова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия
ksukovатов@mail.ru

На основе результатов измерений турбулентных пульсаций компонент скорости ветра в приземном слое атмосферы на высоте 25 м для урбанизированной территории проведены расчеты компонент тензора коэффициентов турбулентной диффузии атмосферного аэрозоля. По измеренным значениям турбулентных пульсаций компонент скорости приземного ветра рассчитаны временные корреляционные и кросс-корреляционные функции компонент скорости ветра, а также дисперсии оценки корреляционных функций поля скоростей. Интегри-

рованием корреляционных функций по времени от нуля до величины временного масштаба Эйлера были рассчитаны компоненты тензора коэффициентов турбулентной диффузии (ТКТД) атмосферного аэрозоля в приземном слое атмосферы для урбанизированной территории. Временной масштаб Эйлера (верхний предел численного интегрирования корреляционных функций) определяется в точке первого обращения корреляционной функции в ноль. С использованием результатов расчета дисперсии оценки корреляционной функции поля скоростей вычислены дисперсии компонент ТКТД.

Усовершенствован алгоритм расчета компонент тензора коэффициентов турбулентной диффузии атмосферного аэрозоля. Процедура полностью автоматизирована. Корреляционные функции аппроксимируются В-сплайнами, точка первого обращения корреляционной функции в ноль определяется как корень В-сплайна. Далее вычисляется определенный интеграл от В-сплайна по временному отрезку равному временному масштабу Эйлера. Аппроксимация сплайнами, определение корней сплайна и численное интегрирование проводятся с использованием стандартной библиотеки Python Scipy.

Статистический анализ показал наличие высокой корреляции между значениями вертикальной компоненты ТКТД атмосферного аэрозоля и вертикального турбулентного потока импульса, интенсивности атмосферной турбулентности, а также коэффициента турбулентного обмена, измеренного с использованием градиентного метода.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ АЭРОЗОЛЯ PM_{10} В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ г. ЗАКАМЕНСК

В.В. Цыдыпов, А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева

*Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
lmza@mail.ru*

Представлены результаты исследования пространственно-временного распределения взвешенных частиц PM_{10} (частицы размером менее 10 мкм) в атмосферном воздухе г. Закаменск, который характеризуется неблагоприятной экологической обстановкой, возникшей в результате многолетней деятельности Джидинского вольфрам-молибденового комбината (ДВМК). Выявлены районы с высоким уровнем содержания взвешенных частиц, превышающие предельно допустимые концентрации.

Методом атомно-абсорбционной спектроскопии проведен химический анализ взвешенных частиц PM_{10} на содержание тяжелых металлов. Обнаружены приоритетные загрязнители атмосферного воздуха (хром Cr, никель Ni, медь Cu, свинец Pb), которые оказывают наиболее значимое влияние на качество воздуха.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-45-04027 р_сибирь_a).

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА АКВАТОРИЮ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПУТЕМ АНАЛИЗА ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ МАСС

Е.В. Моложникова

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

Для оценки пространственных масштабов переноса примесей на озеро от основных городов-источников атмосферных выбросов Байкальской Природной территории проведена серия детальных расчетов на модели HYSPLIT. Расчеты позволили разделить метеорологические ситуации за изучаемый период на пять различных групп влияния. Анализ проводился для всех имеющихся данных за исследуемый период (2014–2015 гг.). При классификации траекторий воздушных масс ориентировались на расположение основных промышленных центров региона, на повторяемость различных траекторий, на различия в синоптических ситуациях.

При расчете прямых траекторий установлено, что перенос от крупных стационарных антропогенных источников Иркутской области в большинстве своем направлен на Южную котловину Байкала и составляет около 58% от всех рассмотренных случаев за год и лишь в 8% случаев за год перенос направлен на Среднюю котловину озера Байкал. От крупных стационарных антропогенных источников Республики Бурятия перенос в Южную котловину составляет не более 15%, в Среднюю котловину около 26% и в Северную котловину озера не более 10% за год.

Рассмотренные ситуации направленного переноса источник-рецептор и их повторяемости позволило обобщать рекомендации по временному снижению выбросов при прогнозе определенных метеорологических ситуаций.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЛИН СО РАН № 0345-2014-0007 № гос. рег. 01201353446.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИОКСИДА АЗОТА

Н.Н. Безуглова¹, А.Ю. Суковатова²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

²Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия
bnn@iwer.ru

Диоксид азота определяется в выбросах от сжигания любых видов топлива, при лесных пожарах, в выбросах металлургических производств, автотранспорта, печей и котельных. Диоксид азота является важной составляющей фотохимических процессов в атмосфере, связанных с образованием озона при солнечной погоде.

В работе предлагаются результаты анализа данных о содержании NO₂ в столбе атмосферы от подстилающей поверхности до верхней границы тропосферы в условиях ясного неба (< 30% облачности). Используются данные спутниковых измерений количества двуоксида азота в атмосфере, основанных на определении количества излучения, поглощенного молекулами диоксида азота в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра, размещенные на портале GES DISC, с разрешением 0,25° по широте и долготе.

В качестве параметров турбулентности использованы данные о полной энергии турбулентных движений, вертикальных потоках тепла, импульса, полученных с помощью ультразвукового метеорологического комплекса АМК.

Одной из основных характеристик пограничного слоя, определяющих термическое взаимодействие атмосферы и подстилающей поверхности, является приземный поток количества тепла H . Его величина и направление определяются знаком и величиной флуктуаций температуры и вертикальной составляющей скорости ветра.

Статистический анализ показал наличие высокой корреляции между содержанием NO₂ и вертикальным турбулентным потоком тепла. Максимум загрязненности атмосферы города нитратами наблюдается в начале лета, когда на фоне усиления прогрева подстилающей поверхности развивается неустойчивость в атмосфере.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТИ В КОМПОНЕНТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА УЧАСТКАХ ЕЕ ПРОШЛОЙ ДОБЫЧИ И ПРИМЕНЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ

Ю.В. Робертус¹, Д.В. Юсупов², Л.П. Рихванов², Е.Е. Ляпина^{2,3}, Е.М. Турсуналиева²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

³Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
ariecol@mail.gornyy.ru

На территории Республики Алтай имеется ряд участков техногенного ртутного загрязнения объектов окружающей среды, сформированных в результате добычи и использования ртути горнодобывающими предприятиями. Авторами были изучены особенности ее распределения в зонах влияния трех рудников («Веселый», Акташский, Майский) и в ложе проектируемой ГЭС на р. Катунь. Основная цель работы заключалась в уточнении концентраций ртути и протяженности потоков ее рассеяния в сопряженных средах субквальных ландшафтов – донных наносах водотоков, в почвах и древесных видах (тополь лавролиственный, береза повислая, пихта сибирская, сосна обыкновенная) речных пойм. Анализ содержания ртути в образцах выполнен методом атомной абсорбции в ТПУ и ИГМ СО РАН. Нижний предел обнаружения ртути – 5 нг/г. При интерпретации полученных данных использованы результаты исследований атмосферного и почвенного воздуха с использованием газортутного анализатора АГП-01М. Установлена сопряженность повышенных концентраций ртути во всех изученных компонентах окружающей среды [1], а также идентичность параметров атмо-, биогео- и литохимических потоков ее рассеяния. Предварительно оценен вклад атмосферного поступления ртути в загрязнение растительной биоты.

Работа выполнена в рамках приоритетного направления VIII.76. Программы фундаментальных научных исследований ИВЭП СО РАН на 2013–2020 гг.

1. *Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В., Архитов И.А.* Экогеохимия ртути в природных средах и техногенных объектах района Акташского ГМП (Республика Алтай) // Мир науки, культуры, образования. 2010. № 2 (21). С. 280–282.

ДИСТАНЦИОННОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС С РЕАКТОРОМ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Г.А. Колотков

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, kolotkov@iao.ru

Проведен сравнительный анализ выбрасываемых в атмосферу радионуклидов из АЭС работающей на перспективном реакторе на быстрых нейтронах. На примере Белоярской АЭС рассмотрен вопрос о возможности дистанционного детектирования повышенной радиоактивности в атмосферных радиоактивных выбросах.

Средние значения выбросов радионуклидов (1985–1989 гг.) из ядерного реактора на быстрых нейтронах [1, 2]

Выбросы радионуклидов, Тбк ГВт-1г-1		
Радиоактивные благородные газы		150
Воздушные	^3H	96
Жидкие	^3H	2,9
Воздушные	^{14}C	0,12
	^{131}I	0,0009
Воздушные	частицы	0,0002
Жидкие	другие	0,028

Принимая во внимание общую активность РБГ и возможность дистанционно детектировать повышенную радиоактивность в выбросах АЭС и РХЗ [3], мы можем заключить, что радиометрическая система способна детектировать радиоактивные выбросы от АЭС с реактором БН.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60115 мол_а_дк.

1. *Man-Made and Natural Radioactivity in Environmental Pollution and Radiochronology* / Eds. Richard Tykva, Dieter Berg. Netherlands: Springer, 2004. V. 7. P. 416.
2. *Source and effects of ionizing radiation.* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation // UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. 1993. United Nations. New York, 917.
3. *Kolotkov G., Penin S.* Remote monitoring of emission activity level from NPP using radiofrequencies 1420, 1665, 1667 MHz in real time // J. Environ. Radioact. 2013. V. 115. P. 69–72.

СРАВНЕНИЕ РЕЖИМОВ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА НА ПОБЕРЕЖЬЯХ БАЛКАНСКОГО РЕГИОНА И КРЫМА

И.Ю. Шальгина¹, И.Н. Кузнецова¹, А.М. Звягинцев², В.А. Лапченко³

¹*Гидрометцентр России, г. Москва, Россия*

²*ЦАО, г. Долгопрудный, Московская обл., Россия*

³*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, г. Феодосия, Республика Крым, Россия, shalygina@mecom.ru*

Используя находящиеся в открытом доступе данные измерений концентрации приземного озона (O_3) в прибрежных районах Болгарии, Греции и Черногории, определены показатели сезонной и суточной изменчивости O_3 на четырех зарубежных станциях, расположенных между 41 и 43° с.ш. Результаты сопоставлены с данными многолетних наблюдений за приземным озоном на Карадагской научной станции в Крыму (около 45° с.ш.). Особое внимание уделено выявлению атмосферных условий при образовании высоких дневных концентраций O_3 , а также причинам аномального повышения уровня O_3 в ночное время.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО И ЭЛЕМЕНТНОГО УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ НОВОСИБИРСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

С.А. Попова¹, В.Ф. Рапута², В.И. Макаров¹, М.А. Бизин¹,
Т.В. Ярославцева³

¹Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, Россия

popova@kinetics.nsc.ru

Цель исследования состоит в выявлении количественных закономерностей между различными компонентами аэрозольных примесей в атмосфере г. Новосибирска и загородных территориях, установлении взаимосвязей с локальными и региональными источниками и текущими метеорологическими условиями. Для анализа используются данные посуточных измерений основных аэрозольных компонентов в точках отбора с разной степенью антропогенной нагрузки. Измерения проводились в 3 пунктах: д. Завьялово, п. Ключи и в центральной части г. Новосибирска на стационарном посту Росгидромета № 26.

В докладе обсуждаются результаты численного анализа данных посуточных измерений массовой концентрации аэрозольных примесей, элементного и органического углерода. Установлены тесные корреляционные связи между компонентами примесей для осеннего и зимнего периодов времени. В рамках линейного корреляционного анализа для периода времени с 2007 по 2013 г. проведены сопоставления концентраций рассматриваемых компонентов с результатами помесячных измерений бенз(а)пирена и сажи, полученных Росгидрометом на постах № 21 и 26. Приведены сравнения с измеренными концентрациями полиароматических углеводородов в снеговых пробах, отобранных вблизи этих постов [1].

1. Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Десяткова А.Ю. Сравнительная оценка состояния длительного загрязнения атмосферы и снежного покрова г. Новосибирска на сети стационарных постов Гидрометеослужбы // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 499–504.

ДНЕВНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В ГОРОДСКОМ И ФОНОВОМ РАЙОНЕ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

А.П. Лужецкая, В.А. Поддубный

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

ann@ecko.uran.ru

На основе результатов парных фотометрических измерений параметров атмосферного аэрозоля, проводимых на Среднем Урале за период 2010–2015 гг., обсуждаются закономерности дневного изменения характеристик замутнения атмосферной толщи. Выделены различия характеристик среднего дневного хода аэрозольной оптической толщи (АОТ); интегрального влагосодержания атмосферы (W); параметров α и β формулы Ангстрема; а также характеристик микроструктуры аэрозоля в столбе атмосферы, рассчитанных по данным АОТ в городском и фоновом районе. Отмечается, что дневная динамика характеристик аэрозольной оптической толщи в городе выражена гораздо сильнее, чем в фоновом районе, что служит аргументом в пользу существенного влияния города на изменчивость этих характеристик.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта фундаментальных и поисковых научных исследований, выполняемого в рамках соглашения о сотрудничестве УрФУ и УрО РАН, «Моделирование процессов переноса атмосферного аэрозоля».

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

Д.П. Стародымова¹, А.А. Виноградова², Е.В. Захарова³, В.П. Шевченко¹,
В.П. Сивонен⁴, В.В. Сивонен⁴

¹Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, г. Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

³Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Россия

⁴Беломорская биологическая станция им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Кандалакша, Россия
d.smokie@gmail.com

Атмосферный перенос является основным путем поступления тяжелых металлов в окружающую среду Арктики. Долговременные исследования аэрозолей, которые осуществляются на территории Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ, позволяют оценить сезонные изменения элементного состава аэрозолей. 45 проб аэрозолей, отобранных летом и осенью 2013 г. и весной и летом 2014 г. на фильтры Whatman 41, были проанализированы на содержание тяжелых металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Обратные траектории движения воздушных масс были построены с помощью программы HYSPLIT [<http://www.ready.noaa.gov>] и математически обработаны. Для интерпретации результатов были также использованы данные синоптических наблюдений. Результаты показали, что северное и северо-западное направления поступления воздушных масс являются наиболее распространенными. Воздушные массы, проходящие через окрестности городов Мончегорск и Никель, характеризуются повышенными содержаниями ванадия, меди, никеля и кадмия. Привнос стронция в точку наблюдения определяется проходом воздушных масс через окружение г. Кировск. Воздушные массы, приходящие из районов Архангельска и Санкт-Петербурга, обеспечивают более высокие содержания сурьмы и свинца.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00059).

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ ЧАСТИЦ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ВОДОСБОРА БЕЛОГО МОРЯ В КОНЦЕ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА

В.П. Шевченко¹, А.Г. Боев¹, А.В. Булохов¹, В.Б. Коробов², А.В. Лещев²,
Д.П. Стародымова¹, А.Е. Яковлев²

¹Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, г. Москва, Россия

²Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Шириова РАН, г. Архангельск, Россия
vshevch@ocean.ru

Нерастворимые частицы в снежном покрове водосбора Белого моря в конце зимних периодов 2012–2016 гг. были изучены в Архангельской и Вологодской областях и на северо-западе Республики Карелия. Снег отбирали в шурфах до замерзшей почвы или льда. В лаборатории снег растапливали и фильтровали через предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм. Состав частиц был изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SEM (Tescan) с микрозондовой приставкой INCA Energy (Oxford Instruments).

На станциях, расположенных в фоновых районах, концентрация нерастворимых частиц в снеге варьировала от < 1 до 8 мг/л. Это незначительно выше, чем фоновые для снежного покрова Арктики значения. Значительно более высокие концентрации частиц были в г. Архангельске и его окрестностях. Взвешенное вещество снега состоит в фоновых районах в основном из биогенных (растительные волокна, споры и пыльца, створки диатомовых водорослей) и литогенных частиц, вблизи Архангельска преобладают сажа и пепловые частицы.

Авторы благодарны С.К. Белорукову, А.С. Лохову, К.А. Середкину, Г.Д. Хоменко, принимавшим участие в экспедиционных исследованиях, сотрудникам Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ за помощь в организации экспедиционных работ и академику А.П. Лисицыну за ценные советы. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-05-08374) и РНФ (грант № 14-27-00114).

АЗОТ, ФОСФОР И УГЛЕРОД В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО БАЙКАЛА

О.Г. Нецветова, В.В. Носова, Е.В. Моложникова, Н.В. Башенхаева, Н.П. Сезько, И.И. Маринайте, Т.В. Ходжер

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия
r431@lin.irk.ru*

В марте 2016 г. продолжены исследования химического состава снежного покрова в районе Южного и Среднего Байкала (побережье и акватория озера). Основное внимание уделено содержанию в снежном покрове минеральных и органических форм азота, фосфора и углерода как компонентов, влияющих на качество воды при поступлении их с тальми снеговыми водами в Байкал. Изучено пространственное распределение концентраций общего азота, фосфора, углерода и нефтепродуктов в снежном покрове изучаемой территории, рассчитано их накопление.

Концентрации $N_{\text{общ}}$ наиболее высоки в снежном покрове на льду Селенгинского мелководья (в среднем $1,44 \text{ мг/дм}^3$). Эта величина в 2,5 раза выше, чем на льду Южного Байкала. В береговой зоне наибольшими концентрациями характеризуется юго-западное побережье. Так в п. Листвянка содержание $N_{\text{общ}}$ составляет в среднем $0,98 \text{ мг/дм}^3$, что на 26% выше, чем юго-восточном берегу. Содержание $P_{\text{общ}}$ максимально на Среднем Байкале в бассейне р. Баргузин, 58 мкг/дм^3 , минимально, на порядок ниже – на льду Южного Байкала. На остальной территории концентрации этого компонента находятся в пределах $11,8\text{--}31,5 \text{ мкг/дм}^3$. Концентрации $C_{\text{общ}}$ на большей части изучаемой территории изменяются незначительно от 3,1 до $5,1 \text{ мг/дм}^3$. И только на льду Южного Байкала они очень низки, в среднем $0,4 \text{ мг/дм}^3$. Средние по изучаемым районам концентрации нефтепродуктов варьируют в пределах $0,019\text{--}0,099 \text{ мг/дм}^3$. Максимум определен в бассейне р. Баргузин, минимум – на льду Селенгинского мелководья. В среднем содержание этого компонента на побережье в 2–3 раза выше, чем на льду озера.

Работа выполнена в рамках проекта VIII.76.5.1. «Изменение абиотических и биотических характеристик озера Байкал под влиянием природных и антропогенных факторов».

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ

Л.И. Сваровская, Л.К. Алтунина, И.Г. Яценко

*Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия
sli@ipc.tsc.ru*

Одной из наиболее острых социально-экономических проблем, прямо или косвенно затрагивающих здоровье человека, является состояние водных объектов на территории нефтедобывающих предприятий. Основу гидрографической сети северного региона составляют малые реки, по берегам которых расположены небольшие селения коренных жителей, использующих речную воду в качестве питьевой. При изучении влияния природопользования на состав поверхностных вод весьма информативен подход, при котором в качестве объекта исследования выступает территория водосборного бассейна, питающая многочисленные малые реки – притоки Оби. С помощью программных продуктов ASTER GDEM, SRTM рассчитана масса смыва нефтепродуктов с загрязненных участков в реку. Высокий риск загрязнения обширных территорий водосборных бассейнов малых рек создают аварийные ситуации на нефтепроводе и аэрозольное распространение продуктов сгорания попутного нефтяного газа в факелах [1]. Рассчитан суммарный годовой сток нефтепродуктов в речную систему малых рек, который в разные годы составляет от 3,1 до 4,5 т. Концентрация загрязнения воды в 6 раз превышает показатели ПДК. Во всех пробах определены наиболее токсичные соединения: пирены, хризены и бензантрацены, что создает высокий риск для здоровья коренного населения и определяет значимость гидрохимических исследований.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта НИР V.46.5.5, выполняемого в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований (ФНИ) государственных академий наук на 2013–2020 гг.

1. Сваровская Л.И., Яценко И.Г., Алтунина Л.К. Электромагнитный спектр светового потока для оценки антропогенного загрязнения растительности на территории нефтедобывающих комплексов // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 4. С. 332–335.

ПОСТУПЛЕНИЕ ПАУ НА ПОВЕРХНОСТЬ ОЗЕРА БАЙКАЛ ЛЕТОМ 2016 г.

И.И. Маринайте, Л.П. Голобокова, М.Ю. Семенов, О.В. Кустова, Т.В. Ходжер

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

Представлены результаты поступления ПАУ на акваторию оз. Байкал в период лесных пожаров в Иркутской и Красноярской области в июле 2016 г. Получено пространственное распределение содержания ПАУ в приводном аэрозоле, рассчитаны их потоки на водную поверхность озера. Концентрации ПАУ изменялись в пределах 0,22–133 нг/м³. Эти значения существенно выше данных, полученных в августе 2002 г. (0,08–0,11 нг/м³). Высокие концентрации определены над поверхностью озера вдоль западного побережья (40–133 нг/м³), в районе г. Байкальск (8,7 нг/м³), у мыса Святой нос (8,9 нг/м³), в Баргузинском заливе (1,1 нг/м³), южного побережья озера в районе пос. Танхой (1,3 нг/м³). Рассчитанные потоки поступления ПАУ на водную поверхность составили 2,6–1600 мкг/м²/нед. Результаты сопоставимы с потоками ПАУ со снежным покровом для районов с источниками ПАУ 1,8–1087 мкг/м²/нед. Максимальные потоки определены над акваторией Южного Байкала 490–1600 мкг/м²/нед. В Среднем Байкале потоки ПАУ составили 7,5–26 мкг/м²/нед, в Северном – 10–108 мкг/м²/нед.

Для количественной оценки вкладов источников ПАУ в загрязнение приводного аэрозоля оз. Байкала использовали метод, основанный на представлении смешения выбросов множественных источников ПАУ в качестве двумерной геометрической модели путем решения систем линейных уравнений.

Работа выполнена в рамках проекта VIII.76.5.1. «Изменение абиотических и биотических характеристик озера Байкал под влиянием природных и антропогенных факторов» в ЦКП Сибирского Отделения РАН «Ультромикроранализ».

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОСАЖДЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОЛИНЕ АНГАРЫ И АКВАТОРИИ ЮЖНОГО БАЙКАЛА

В.А. Оболкин, В.Л. Потемкин, В.Л. Макухин

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия
obolkin@lin.irk.ru*

Зимой 2013 г. на территории Южного Прибайкалья на льду южной части оз. Байкал проведены снегомерные съемки. Целью исследований являлось выявление территорий, испытывающих наибольшее влияние переноса воздушных масс из промышленных центров Иркутской области.

Исследования показали, что наибольшее количество загрязняющих веществ содержится в снежном покрове по разрезам Кадильный – Мишиха и Листвянка – Танхой. Также повышенные концентрации некоторых металлов, таких как Al, Ti, Fe отмечаются вблизи локального источника г. Байкальск. В снежном покрове вблизи г. Слюдянка выявлены повышенные концентрации Sr, W, Ba, Co. Наиболее загрязнен снежный покров в центральных точках по разрезам Листвянка – Танхой и Кадильный – Мишиха. Подобное распределение элементного состава происходило и в 2010 г.

Максимальные концентрации меди, как и других микрокомпонентов, наблюдаются по распределению основного переноса воздушных масс по двум разрезам. Содержание железа в снежном покрове со льда озера практически равномерное, значения концентрации составляют от 17 до 40 мкг/дм³.

Анализ полученных материалов свидетельствует о переносе загрязняющих примесей от Иркутско-Черемховского промышленного узла по разрезам Маритуй – Солзан и Листвянка – Танхой.

С помощью модели турбулентной диффузии примесей была выполнена оценка величин осаждения тяжелых металлов в регионе Южного Байкала с использованием рассчитанных полей концентраций Hg, Pb, Ni, Co.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ

ИЗОТОПНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ

П.А. Акуллов^{1,3}, Ю.В. Волков^{1,3}, Д.А. Калашникова^{1,3}, А.Н. Маркелова¹,
В.Н. Мелков¹, Г.В. Симонова^{1,2}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
galina_simonova@inbox.ru

Радиоактивные и стабильные изотопы в течение длительного периода времени считаются очень эффективным инструментом изучения физических и биологических аспектов функционирования глобальных экосистем. Природные радиоактивные изотопы используются в качестве временных индикаторов, в то время как стабильные изотопы легких элементов в качестве температурных индикаторов, индикаторов влажности. Легкие стабильные изотопы применяются в различных исследованиях окружающей среды, охватывая все уровни исследования, однако их потенциал еще используется не полностью. В данной работе внимание уделено исследованию пирогенного углерода, образующегося при неполном сгорании топлива, методом изотопной масс-спектрометрии с использованием изотопного масс-спектрометра DELTA V Advantage (ТомЦКП СО РАН). Проведенные изотопные исследования углерода в образцах сажи, полученной при экспериментальном сжигании различных горючих веществ, выявили очевидную связь между образцами сажи и исходными материалами. Предложенный в работе подход, заключающийся в выделении из атмосферных взвесей частиц черного углерода [1], дает возможность провести идентификацию источника происхождения сажевых частиц. Это позволяет решить одну из проблем, связанных с оценкой выбросов черного углерода, а именно определения его источников происхождения, доминирующих на той или иной территории.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 16-45-700941.

1. Kalashnikova D.A., Markelova A.N., Melkov V.N., Simonova G.V. // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. V. 24. P. 467–471.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ОБЛАЧНОСТИ И РАСЧЕТ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО РАДИОМЕТРА AVHRR

А.А. Косторная, М.Г. Захватов, Е.И. Сапрыкин, Ф.В. Пяткин, Е.Ю. Сахарова

*Сибирский Центр ФГБУ «НИЦ «Планета»», г. Новосибирск, Россия
kostornaya@rcpod.ru*

В последние десятилетия актуальны и востребованы методы автоматического дешифрирования облачных полей на основе данных дистанционного зондирования. Конечные тематические продукты таких методик позволяют с высокой точностью определять параметры облачности и использовать эти данные в региональных и мезомасштабных схемах численного анализа и прогноза погоды.

В 2014 г. в СЦ «НИЦ «Планета»» была внедрена новая экспериментальная методика дешифрирования облачности, позволяющая предоставлять специалистам тематические продукты на основе спутниковых данных – карты классификации облачности, высоты и температуры верхней границы облака (ВГО). В качестве исходных спутниковых данных используются данные радиометра AVHRR (Level-1b) космических аппаратов NOAA-19, NOAA-18, NOAA-15 и MetOp-B. Процесс выполнения дешифрирования многоэтапный, в качестве предикторов используется большой объем дополнительных данных: численные прогнозы погоды NCEP, битовые маски водоемов, пустынь и т.п.

С целью определения степени достоверности конечных продуктов методики были проведены разнохарактерные оценки качества ее результатов – сопоставление с данными наземных наблюдений, данными КА CALIPSO и данными доплеровского метеолокатора.

В ходе проведенных испытаний получены статистические значения оправдываемости рассчитанных характеристик облачности для разных сезонов года, подробно проанализированы случаи ложного детектирования в зимний период, выявлены соответствующие им условия погоды.

1. *Heidenger A.* The clouds from AVHRR Extended User's Guide. Version 5.4.1 // NOAA/NESDIS Center for Satellite Applications and Research (STAR). 2014. 60 p.

БАЛЛ КУЧЕВОЙ ОБЛАЧНОСТИ КАК ФУНКЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОЙ РАДИАЦИИ

С.В. Зуев

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
zuev@imces.ru*

Предлагается подход к определению балла кучевой облачности по данным наземных актинометрических измерений с использованием коэффициента изменения рассеянной радиации, определяемого как отношение измеренной радиации к соответствующим значениям при ясном небе $C_D = D/D_0$. В качестве исходных данных используются данные автоматизированного актинометрического комплекса (ААК) агрометеорологической станции «А Огурцово» (г. Новосибирск). Балл облачности определяется по изображениям всего небосвода, полученным с помощью панорамного обозревателя «Синева», входящего в состав телевизионного измерителя характеристик облачности [1], установленного в непосредственной близости от ААК. Приводится полученная зависимость балла кучевой облачности от коэффициента C_D . Показана необходимость корректного учета вклада периферийных облаков в определяемый по All Sky изображениям всего небосвода общий балл облачности.

Работа выполняется в рамках проектов VII.77.1.2 «Погодно-климатические изменения в Сибири и Арктике в условиях аэрозольных нагрузок» и VIII.80.2.2 «Научные основы создания оптических, акустических и электронных приборов, комплексов и систем для метеорологических измерений и технологии их применения в задачах мониторинга окружающей среды».

1. *Зуев С.В., Красненко Н.П., Левикин В.А.* Телевизионный измеритель характеристик облачности // Доклады ГУСУРа. 2014. № 1(31). С. 54–59.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ НАЗЕМНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

**Е.Н. Кадыгров¹, И.Н. Кузнецова², Е.В. Ганьшин¹, А.Г. Горелик¹, Г.И. Горчаков⁴, А.К. Князев¹,
Е.А. Миллер¹, И.А. Репина⁴, Т.А. Точилкина¹, А.В. Троицкий³**

¹*Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный, Московская обл., Россия*

²*Гидрометеорологический центр РФ, г. Москва, Россия*

³*Научно-исследовательский радиофизический институт, г. Нижний Новгород, Россия*

⁴*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия*

ldz@cao-rhms.ru

В настоящее время мониторинг состояния атмосферы невозможно представить без наземных дистанционных методов и технических средств микроволнового радиометрического зондирования атмосферы. Главным преимуществом дистанционных методов является возможность проведения непрерывных и мобильных измерений, чем не обладают традиционные методы – периодические выпуски одноразовых радиозондов и датчики на высотных метеорологических мачтах. Спутниковые микроволновые радиометры широко используются для этих целей, но фактически не обеспечивают измерение профилей метеопараметров в атмосферном пограничном слое (АПС). В связи с этим в Центральной аэрологической обсерватории были разработаны наземные микроволновые измерители для мониторинга термодинамического режима в АПС и более высоких слоев тропосферы. Наиболее известными приборами являются приборы МТР-5 и «Микрорадком», в докладе дан анализ опыта их использования. Начиная с 2000 г. данные этих приборов используются в оперативной работе по прогнозированию загрязнений атмосферы, прогнозу опасных метеорологических явлений, исследованию вер-

тикальной структуры городского острова тепла, в научных задачах по исследованию атмосферного аэрозоля, процессов взаимодействия океана и атмосферы, созданию атласа радиационных характеристик облаков.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 14-05-0038).

1. *Кадыгров Е.Н., Кузнецова И.Н.* Методические рекомендации по использованию данных дистанционных измерений профилей температуры в атмосферном пограничном слое микроволновыми профиломерами: теория и практика. Долгопрудный: Изд-во «Физматкнига», 2015. 171 с.
2. *Кадыгров Е.Н., Горелик А.Г., Миллер Е.А., Некрасов В.В., Троцкий А.В., Точилкина Т.А., Шапошников А.Н.* Результаты мониторинга термодинамического состояния тропосферы многоканальным микроволновым радиометрическим комплексом // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 6. С. 459–465.

АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛНОГО ВЕКТОРА СКОРОСТИ ВЕТРА ПО РАДИАЛЬНЫМ ПРОЕКЦИЯМ

Н.А. Баранов¹, Г.А. Петров², И.Ф. Ширяев²

¹*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Россия*

²*ОАО «БАНС», г. Санкт-Петербург, Россия
g.petrov@ians.aero*

Обеспечение безопасности полетов является одной из первоочередных задач гражданской авиации. Мониторинг метеообстановки вблизи взлетно-посадочной полосы относится к важным задачам обеспечения безопасности взлетов и посадок воздушных судов. Программно-алгоритмическое обеспечение импульсного ветрового лидара (ИЛВ), разработанное компанией ОАО «Бортовые аэронавигационные системы» (БАНС), восстанавливает полный вектор скорости ветра по радиальным проекциям и позволяет получать информацию о параметрах ветра на расстоянии до 2 км. В настоящем докладе рассмотрены методы повышения точности и быстродействия алгоритма вычисления параметров ветра, осуществлено сравнение результатов работы ИЛВ и сканирующего непрерывного лидара, а также проведен анализ результатов моделирования работы тракта обработки данных ИЛВ.

В процессе работы удалось определить оптимальное число значений радиальной скорости ветра, необходимых для корректного вычисления параметров ветра, минимальное требуемое отношение сигнал/шум в исходных данных, исследовать влияние фазовых и амплитудных шумов, значительно уменьшить вычислительную сложность работы алгоритма.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 16-07-01072).

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И РЕФЕРЕНСНЫХ МЕТОДИК ДЛЯ СЕРТИФИКАЦИИ УСТАНОВОК ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА

**А.С. Сафатов¹, В.Г. Акимкин^{2,3}, Г.А. Буряк¹, В.А. Вечканов¹, Д.А. Трубицын⁴,
В.А. Фольц⁴, В.Г. Шувалов⁵**

¹*ГНЦ ВВ «Вектор» Роспотребнадзора, п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия*

²*НИИ дезинфектологии Роспотребнадзора, г. Москва, Россия*

³*Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, г. Москва, Россия*

⁴*ООО «Аэросервис», г. Новосибирск, Россия*

⁵*СНИИ метрологии, г. Новосибирск, Россия*

Создание соответствующих условий в помещениях с высокими требованиями к чистоте невозможно без специальной подготовки воздушной среды. Для многих производств наиболее критичным является обеспечение асептических условий. Поэтому очистка воздуха помещений от биоаэрозоля является актуальной задачей. Представленные на рынке воздухоочистители и обеззараживатели проточного типа проходят тестирование на эффективность фильтрации согласно имеющимся нормативам, основанным на величине CADR [1]. Однако величина CADR ничего не говорит об эффективности обеззараживания устройства.

Естественной мерой эффективности обеззараживания аэрозоля устройством, E является отношение концентраций жизнеспособных микроорганизмов на выходе (C_{out}) и на входе (C_{in}) в устройство:

$$E = 100 \cdot (1 - C_{in}/C_{out}), \%$$

Эффективность фильтрации слабо зависит от температуры и относительной влажности внутри помещения, а для жизнеспособных микроорганизмов такие зависимости могут быть очень резкими. Различные микроорганизмы по-разному реагируют даже при фиксированных условиях микроклимата на присутствующие внутри устройства инактивирующие факторы, такие как концентрации озона и аэроионов, УФ-излучение, состав газовой фазы и др. Корректно сравнивать эффективности обеззараживания воздуха устройствами можно только при использовании идентичных микроорганизмов (бактерий, вирусов и грибов), аэрозолированных из одного и того же материала в одинаковых условиях микроклимата.

Очевидно, что назрела необходимость разработки нормативных документов и референсных методик, регламентирующих оценку эффективности работы обеззараживателей воздуха помещений.

1. Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM): Standard Test Procedure ANSI/AHAM AC-1 (2002) AHAM.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДИ АКВАТОРИИ ОЗЕР ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.А. Донцов¹, И.А. Суторихин^{1,2}

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

²Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск, Россия
alexdotsov@yandex.ru

Актуальной задачей гидрологии внутренних водоемов суши является определение их площади акватории в различные сезоны года. Для решения этой задачи разработана программа обработки данных со спутников Landsat-8, Sentinel-1 и Sentinel-2, с целью определения по ним площади акватории. В исследовании рассматривается работа алгоритмов классификации: Random Forest, Spectral Angle Mapper и *k*-means. С помощью указанных алгоритмов определены площади таких озер как Красиловское, Большое Яровое и Кучукское в Алтайском крае, а также Телецкое в Республике Алтай. Проведена оценка ошибок полученных значений площадей водных объектов, возникающих в ходе обработки данных.

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТНОГО АНАЛИЗА

Е.И. Ларионов, А.С. Лисютенко, А.А. Титов, О.А. Чернышова, П.О. Шишков

Московский технологический университет, Россия
volchkova_anasta@mail.ru

Измерение параметров приземного аэрозоля имеет очень важное значение для современной экологической обстановки. Приземный аэрозоль оказывает влияние на климат, а также здоровье человека. Характеристики аэрозоля меняются в зависимости от географического положения, метеорологических условий, а также времени года и времени суток. Существует два способа контроля приземного аэрозоля – спектральный анализ и вейвлетный анализ. Предлагается измерить распределение аэрозоля с помощью вейвлетного анализа, так как он более точен, поскольку спектральный анализ на основе преобразования Фурье не позволяет проводить анализ процессов, характеристики которых меняются во времени. Исходя из выбранного анализа, предлагается создать аппаратуру для измерения характеристик аэрозоля. Устройство представляет собой систему, состоящую из излучателя, в качестве которого используется источник когерентного поляризованного излучения, излучающий в узком частотном диапазоне и работающий непрерывно. Плоский фронт сгенерированного пучка попадает на ячейку Поккельса, которая является модулятором сигнала. Затем модулированный сигнал отправляется на передающую оптику, а рассеянное излучение, с вою очередь поступает на приемную оптику, после чего происходит его фильтрация и передача на фотоприемник. Полученный сигнал усиливается, оцифровывается и обрабатывается в специально разработанной программе на алгоритме вейвлета. Установка используется как опытный образец для измерения характеристик аэрозоля в одном из районов города Москвы.

1. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов: Уч. пособие. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2001. 58 с.
2. Лукашкин В.Г., Гаритов В.К., Слетцов В.В., Вишнеков А.В. Автоматизация измерений, контроля и управления. М.: Машиностроение, 2005. 663 с.

РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВИДЕНИЯ ЧЕРЕЗ ОБЛАЧНУЮ СФЕРИЧЕСКУЮ АТМОСФЕРУ

И.Ю. Гендринна, М.А. Алексеенко

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
masha_af6@mail.ru*

Цель работы заключается в исследовании зависимости углового распределения яркости излучения на границах атмосферы от оптико-геометрических условий наблюдения на основе анализа модели безоблачной атмосферы и при условиях наличия облачности.

Под системой видения понимают схему наблюдения, включающую в себя подстилающую поверхность, «мутную среду» (атмосферу) и оптическое устройство, осуществляющее регистрацию излучения. Для изучения переноса излучения в таких системах традиционно используется теория систем и теория переноса излучения [1]. Угловое распределение яркости было получено методом Монте-Карло (метод сопряженных траекторий). Рассмотренные длины волн указаны в таблице. Атмосфера предполагалась аэрозольно-молекулярной.

По результатам имитационного моделирования был применен корреляционно-регрессионный анализ и построено уравнение регрессии для каждой длины волны в рассмотренных окнах прозрачности. Регрессионные коэффициенты и коэффициент детерминации для уравнения регрессии, имеющего вид $y = e^{b_0} x^{b_1}$, представлены в таблице.

λ , мкм	b_0	b_1	R^2
0,374	-9,68	-2,56	0,904
0,530	-10,00	-2,44	0,949
0,694	-9,42	-2,70	0,913
0,860	-9,54	-2,68	0,945
1,060	-9,58	-2,73	0,948
3,390	-8,85	-3,28	0,940
10,60	-8,81	-3,38	0,921

Статистическая оценка полученных уравнений регрессии на значимость была проведена на основе F -критерия и t -критерия Стьюдента. С уверенностью не менее 90% можно утверждать, что рассмотренные зависимости являются статистически значимыми [1].

1. *Алексеенко М.А.* Анализ характеристик систем видения по результатам статистического моделирования: Магист. дис. на соиск. степ. магист. (14.06.16) / М.А. Алексеенко. Томск: ТГУ, 2016. 63 с.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОСЕВОВ И УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ АГРОХОЛДИНГА «ГЕЛИО-ПАКС»

И.И. Клиточенко

*ООО «Гелио-Пакс», Россия
iklitochenko@gmail.com*

В последние годы все более активно на предприятиях сельского хозяйства внедряются информационные системы (ИС) агроменеджмента, которые в качестве входных данных используют данные спутникового дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности.

Такая ИС была разработана в агрохолдинге «Гелио-Пакс» и вошла в эксплуатацию в холдинге с августа 2014 г. ИС осуществляет контроль над процессами производства и дистанционный мониторинг посевов.

Рассматриваемая ИС позволяет накапливать и манипулировать большими объемами информации, источником которой является как данные непосредственных наблюдений агрономической службы предприятия, так и данные дистанционного спутникового зондирования, а также показания цифровых приборов и датчиков, например, портативных метеостанций.

В состав ИС входит разработанный нами ГИС-модуль, который позволяет производить оперативный контроль состояния обрабатываемых площадей на основе данных ДЗЗ, а также сгруппировать хранимую в системе информацию и представить в наиболее наглядном виде – в виде тематических карт (севооборота, агрохимических исследований, кадастровые карты, карты влагозапаса почвы и т.д.).

В качестве источника данных ДЗЗ используются общедоступные данные среднего разрешения, получаемые с космических аппаратов Landsat 7, 8, а также Sentinel-2A. В докладе будут представлены используемые нами алгоритмы и методы обработки данных ДЗЗ, используемых для работы модуля.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 16-45-340152 p_a.

ПРИБОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРЯМОГО ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРА АЭРОЗОЛЯ ДИАМЕТРОМ 0,4–4 мкм

А.М. Бакланов

*Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия
anatoli@kinetics.nsc.ru*

Разработан приборный комплекс, включающий в себя: генератор затравочных частиц, конденсационный укрупнитель, седиментационную кювету и фотокамеру с микрообъективом. Предложенные технические и конструкционные решения позволяют регулировать концентрацию и размер аэрозоля в широком диапазоне, а также получать аэрозоль со средним геометрическим отклонением 1,1.

Данный комплекс успешно применяется для калибровки аэрозольных счетчиков и в экспериментах требующих генерации субмикронного и микронного аэрозоля с небольшой шириной распределения по размерам. Перспективным представляется использование данного комплекса при исследованиях процесса гетерогенной нуклеации для оптимизации работы КУСТА наноаэрозольных счетчиков.

АВТОРСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГРОЗ НА ТЕРРИТОРИИ УРАЛО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА

М.Я. Здерева, В.М. Токарев

*Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
г. Новосибирск, Россия, vt@sibnigmi.ru*

Разработка методов прогноза гроз традиционно базировалась на конструировании различных прогностических показателей, так или иначе отражающих условия конвекции в тропосфере. За вторую половину прошлого столетия получено множество различных «индексов» гроз (Вайтинга, Кокса, Lifting и пр.), которые фактически показывают вероятность их возникновения в зависимости от выбранного для данной местности порога. Однако удобство и простота получения результата, оправданная в эпоху ручных вычислений и индивидуальной подстройки порогов в локальных прогностических центрах, потеряли актуальность в современную эпоху информационных технологий.

В СибНИГМИ завершается выполнение масштабной работы по построению программного комплекса прогнозирования гроз на территории Урало-Сибирского региона. Разработанная методика впервые позволяет оперативно рассчитывать адаптированные к ближайшим гидрометеостанциям прогнозы гроз на 6–72 ч по данным выходной прогностической продукции гидродинамических моделей COSMO-Sib и GFS. При этом используются индивидуальные для каждой метеостанции, заблаговременности и пространственно-временного варианта прогноза прогностические решающие правила со своим списком параметров. В докладе представлены первые результаты авторских испытаний за 2015–2016 гг.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА ВАРИАЦИОННОГО УСВОЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА И ТРАНСФОРМАЦИИ АТМОСФЕРНОЙ ПРИМЕСИ

А.В. Пененко^{1,2}, П.Н. Антохин³, А.А. Гришина^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Россия

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Изучается эффективность алгоритма усвоения данных контактных измерений для модели транспорта и трансформации примесей в атмосфере. Алгоритм основан на вариационном подходе со слабыми ограничениями и схеме расщепления, что позволяет избежать итераций при решении прямых и сопряженных задач на стадии переноса примесей [1, 2].

Проверка эффективности алгоритма осуществлялась как на синтетических, так и на реальных данных измерений. При этом изучалась устойчивость алгоритма к погрешностям в данных измерений, а также точность восстановления полей концентраций ненаблюдаемых химических элементов из рассматриваемой модели трансформаций.

Работа поддержана проектом МК-8214.2016.1, Программами фундаментальных исследований РАН I.33П, II.2П, а также проектом РФФИ № 14-01-00125а.

1. Пененко А.В., Пененко В.В. Прямой метод вариационного усвоения данных для моделей конвекции–диффузии на основе схемы расщепления // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 4. С. 69–83.
2. Пененко А.В., Пененко В.В., Цветова Е.А. Последовательные алгоритмы усвоения данных в моделях мониторинга качества атмосферы на базе вариационного принципа со слабыми ограничениями // СибЖВМ. 2016. (В печати).

КОГЕРЕНТНОСТЬ ПУЧКА ЭЙРИ В ДИСКРЕТНОЙ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЕ

И.П. Лукин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

lukin_ip@iao.ru

Оптические пучки Эйри представляют большой теоретический и практический интерес. Однако, до сих пор распространение оптических пучков Эйри рассматривали либо в однородной среде, либо в турбулентной случайно-неоднородной атмосфере. Другие типы случайно-неоднородных сред, в частности дискретные рассеивающие среды, пока остаются вне поля зрения исследователей. Между тем, в атмосфере всегда присутствуют частицы вещества, которые активно участвуют в рассеянии света. В данной работе изучается средняя интенсивность и степень когерентности оптических пучков Эйри, распространяющихся в атмосфере с дискретными рассеивателями. Распространение оптических волн в дискретной рассеивающей среде, состоящей из большого числа крупномасштабных, по сравнению с длиной волны оптического излучения, рассеивателей, исследуется на основе решения дифференциального уравнения в частных производных для функции взаимной когерентности второго порядка оптического излучения. Используя общее решение этого уравнения для случая пучков Эйри, анализируется ухудшение когерентных свойств пучков Эйри при распространении в дискретной рассеивающей среде. Обсуждается возможность распространения оптического пучка Эйри на протяженных атмосферных трассах при наличии дискретных рассеивателей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-08-00899 А).

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ АЭРОЗОЛЯ НА СВЕТИМОСТЬ УХОДЯЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

С.А. Шишигин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

ssa@iao.ru

Проведены расчеты светимостью атмосферы в спектральных участках 1240,980–1241,020 и 1240,901–1240,949 см⁻¹. Атмосфера представляется в виде двух эффективных однородных слоев. На основании полученных результатов светимости атмосферы решалась обратная задача по определению содержания метана в слоях

с помощью метода дифференциального поглощения. Показана возможность определения содержания газа в атмосфере без привлечения статистических методов оценки корректности полученных решений на основе накопленного массива данных об атмосфере и определяемом параметре. Доля мощности уходящего излучения, обусловленная наличием аэрозоля в атмосфере, приводит к смещению расчетного значения содержания исследуемого газа в слое. Рассмотрена модель двухслойной атмосферы с тонким однородным нижнем слоем, в котором содержание метана можно не учитывать. Данная процедура позволяет избавиться от неустойчивости решения системы уравнений и определить значения мощности уходящего излучения, обусловленной наличием аэрозоля в атмосфере. Это связано с тем, что в узком спектральном диапазоне (порядка ширины спектральной линии поглощения исследуемого газа) ослабляющие и излучающие свойства аэрозоля практически не зависят от частоты регистрируемого излучения.

Результаты исследования могут быть использованы в качестве методики для обработки спектров, полученных при помощи современных сенсоров установленных на спутниках.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА СО СПУТНИКА ВСЛЕДСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ В ОБЛАСТИ В ОБЛАСТИ 0,63 мкм

С.Ф. Баладин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Специализированные спутники дистанционного зондирования Земли являются практически безальтернативным средством осуществления глобального мониторинга планеты. В настоящее время глобальный мониторинг атмосферы Земли, получение данных для прогнозирования погоды и предсказания изменений климата, дистанционное зондирование влажности почвы, солёности поверхности океана и пр. осуществляются, в частности, с помощью микроволновых и инфракрасных радиометрических измерений. Для проведения измерений используется различная техника, базирующаяся на наземных станциях, на летательных аппаратах и искусственных спутниках Земли. Для восстановления необходимых параметров по результатам измерений используются модельные зависимости (профили) коэффициента поглощения газов, входящих в состав атмосферы, от частоты. Основной вклад в поглощение электромагнитных волн в атмосфере Земли вносят молекулярный кислород и водяной пар. Данные о переходах тонкой структуры молекулы кислорода в диапазоне длин волн вблизи 60 и 118,75 ГГц используются для восстановления вертикального профиля температуры атмосферы [1] и измерения давления на поверхности Земли с помощью бортового оборудования [1, 2]. Следует отметить, что содержащаяся в спектроскопических базах данных информация о параметрах линий в этой области спектра остается неполной, что снижает достоверность проводимых измерений. Снять эти ограничения возможно в оптическом диапазоне. В [3] исследованы принципиальные возможности использования спектрального диапазона 15800–15030 см⁻¹ для пассивных спутниковых корреляционных измерений кислорода в атмосфере в слое 0–40 км на основе применения фотоприемной матрицы. В данной работе анализируются погрешности корреляционных измерений, связанных с изменением температуры в слоях атмосферы до высоты 40 км, как для надирных измерений, так и для углов 300.

1. *Nedoluha G.E., Connor B.J., Barrett J. et al.* Ground-based measurements of ClO from Mauna Kea and intercomparisons with Aura and UARS MLS // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. D02307.
2. *Leslie R.V.* Geophysical parameter estimation with a passive microwave spectrometer at 54/118/183/425 GHz. Massachusetts Institute of Technology. 2004.
3. *Баладин С.Ф.* Спутниковое зондирование кислорода с использованием фотоприемной матрицы // Тез. докл. на 22 Междунар. симпоз. «Оптика атмосферы и океана, физика атмосферы». Томск, 2016. С. 100.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕКТОРА ДВИЖЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЛАЧНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Н.Н. Скороход

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
nik.tom92@yandex.ru*

Поля облачности являются основным регулятором радиационного режима системы «земная поверхность-атмосфера» и играют важную роль в различных отраслях народного хозяйства, таких как метеорология, для

обеспечения экологической и национальной безопасности, в научных исследованиях и т.д. При наличии спутниковых данных для решения данных задач, необходимо решить следующие две основные проблемы: выделение на изображении различных облачных образований и разделения их на типы.

В работе [1] хорошо зарекомендовала себя методика на основе технологии «оптический поток», применяемая для определения направления движения облачности в целом, без учета классификации облачности. Предлагается модифицировать методику, дополнив ее сегментацией облачных полей на отдельные классы с последующей идентификацией типа облачности. В качестве контекстной информации для анализа предлагается набор текстурных признаков полученных из анализа гистограмм пространственной яркостей изображения.

1. *Елизаров А.И., Скороход Н.Н.* Обработка изображений облачности с использованием данных из открытых источников // Изв. вузов. Физика. 2015. Т. 58, № 10/3. С. 126–128.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СЕТИ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ ГАЗОВ И АЭРОЗОЛЕЙ ОТ НЕИЗВЕСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Б.М. Десятков¹, Н.А. Лаптева^{1,2}

¹*Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
п. Кольцово, Россия*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
lapteva@vector.nsc.ru*

При техногенных авариях и террористических акциях в атмосферу могут выбрасываться опасные для человека газы и аэрозоли. Существующая сеть станции контроля загрязнения воздуха в крупных городах и промышленных центрах не всегда позволяет обнаружить такие выбросы и определить координаты источника, в особенности, если они неизвестны, так как создана для иных целей. Поэтому актуальной становится задача разработки метода построения оптимальной сети станций контроля, которая позволит следить за потенциально опасными источниками газов и аэрозолей.

Разработанный метод и алгоритм реализованы в виде программ для персонального компьютера. Рассмотрены мгновенные точечные источники, местоположение которых неизвестно. Для них построены оптимальные сети станций мониторинга для всех реальных метеорологических условий, для разных сезонов года и для различных горизонтальных размеров области распространения примесей. Проведен анализ особенностей этих сетей. Метод создания оптимальной сети станций мониторинга выбросов основан на последовательном решении «прямых» задач распространения примесей в атмосфере, когда по информации о предполагаемых источниках моделируется диффузия примесей при всех реальных метеорологических ситуациях. Строится предварительная сеть станций мониторинга, которая будет в состоянии зафиксировать выброс при любых рассмотренных метеорологических условиях. Далее определяется вес каждой станции мониторинга, проводится ранжирование их по весу. В зависимости от веса вся сеть разбивается на два-три варианта, различающиеся количеством станций. Разработанный математический метод построения оптимальной сети станций мониторинга выбросов газов и аэрозолей при техногенных авариях и террористических актах является оригинальным и не имеет аналогов. Для моделирования диффузии примесей в пограничном слое атмосферы используется разработанная в ГНЦ ВБ «Вектор» численно-аналитическая модель переноса аэрозолей в термически стратифицированном пограничном слое атмосферы [1].

1. *Бородулин А.И., Десятков Б.М.* Моделирование распространения примесей в атмосферном пограничном слое. Новосибирск: Новосибирский гос. ун-т, 2007. 376 с.

МЕТОДИКА КОРРЕКЦИИ «ЭФФЕКТА ПОЧЕРНЕНИЯ ФИЛЬТРА» ПРИ АЭТАЛОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ АЭРОЗОЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

В.С. Козлов, В.П. Шмаргунов, М.В. Панченко

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
vkozlov@iao.ru*

Совершенствование радиационно-климатических моделей безоблачной атмосферы зависит от корректности измерения поглощающих характеристик атмосферного аэрозоля (коэффициент поглощения, массовая концентрация сажи *EBC*). Для измерений поглощения в последние десятилетия часто используются фильтровые

методы, связанные с осаждением частиц на диффузные фильтры (аэталометры, фотометры поглощения типа PSAP). Основной неопределенностью таких измерений является «эффект почернения фильтра» («spot loading effect», SLE), приводящий к занижению истинных значений EBC при уменьшении прозрачности фильтра до $T = 0,2-0,6$. В работе обсуждается разработанная методика коррекции измеренных концентраций EBC_0 в зависимости от T , обеспечивающая восстановление «истинных» концентраций, результаты ее тестирования и параметризации.

Введено предположение, что истинные концентрации сажи соответствуют ее значениям при $T = 0,75$. Алгоритм коррекции SLE содержит несколько стадий обработки EBC_0 . На первой стадии для каждой длины волны оцениваются коэффициенты линейной регрессии k зависимостей нормированных концентраций $EBC_{\text{норм}}(T) = EBC_0(T)/EBC_0(T = 0,75) = k \cdot T + A$. Из измерений установлено, что зависимости от T характеризуются высокой линейной корреляцией ($R^2 > 0,97$), в отличие от обычно рассматриваемых в литературе связей с оптической толщиной ослабления $ATN = 100 \cdot \ln(T^{-1})$. Получены аналитические выражения для расчета коэффициентов коррекции $K(k, T)$. Проведено тестирование методики для сильнопоглощающих (ЕВС) и рассеивающих (Brown Carbon) частиц, генерируемых при различных режимах сжигания биомассы сосны в Большой аэрозольной камере ИОА СО РАН. Впервые показано, что все полученные выражения для коэффициентов коррекции с высокой точностью описываются экспоненциальными функциями с наклоном, зависящим от k и длины волны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение № 14.604.21.0100 - уникальный идентификатор RFMTFI60414X0100), гранта РФФИ № 15-05-01983.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ БИОСЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ НАНОПРОВОЛОЧНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ НЕКОТОРЫХ БИОАЭРОЗОЛЕЙ

И.В. Хлистун¹, В.М. Генералов¹, Г.А. Буряк¹, О.В. Наумова², А.С. Сафатов¹, А.М. Никонов¹,
Б.И. Фомин², С.А. Пьянков¹, Б.Н. Зайцев¹

¹Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
п. Кольцово, Россия

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск, Россия
hlistun_iv@vector.nsc.ru

Биоаэрозоли атмосферы оказывают значительное влияние на состояние окружающей среды и здоровье населения, способны вызывать или провоцировать аллергические и инфекционные заболевания. Эффективность противодействия последствиям биологического загрязнения воздуха во многом определяется скоростью установления факта присутствия патогенных частиц в составе атмосферы. В связи с чем актуальна разработка высокочувствительных и специфических методов детекции патогенов, экопатогенов в реальном масштабе времени и создания на основе этих методов современных технических средств. Наиболее яркими представителями аналитических систем, сочетающих в себе высокую чувствительность и избирательность, доступность, возможность миниатюризации и регистрации в режиме реального времени, являются биосенсоры на основе нанопроволочных транзисторов. Цель работы – разработка метода детекции биологических агентов и продуктов микробиологического синтеза в нативных пробах биологических аэрозолей.

Для достижения поставленной цели использованы сенсоры на основе кремниевых полевых транзисторов и проведены тестовые испытания по взаимодействию маркера вируса Эбола (Eblovirus) – белком VP-40 со специфичными антителами.

Результаты исследований показали, что сенсоры могут быть использованы для высокочувствительной детекции вируса Эбола в режиме реального времени и реакции взаимодействия белка VP-40 со специфичными к нему антителами, а так же для выбора специфичных зондов и анализа их взаимодействия с целевыми белками.

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫМ АНАЛИЗАТОРОМ

С.Ф. Баландин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
bal@iao.ru

Содержание формальдегида в воздухе крупных населенных пунктов повышено за счет того, что он является продуктом горения автомобильного транспорта, выбросам химических предприятий, кожевенным и деревообрабатывающим фабрикам. Главное вредоносное свойство этого бесцветного газа – его высокая токсичность

для человека при сравнительно низких концентрациях $0,01-0,05 \text{ мг/м}^3$. Данный канцероген способен оказать пагубное воздействие на различные системы человеческого организма, что может привести к появлению рака дыхательных путей и многих других тяжелых заболеваний вплоть до лейкемии. Поэтому своевременное обнаружение в атмосфере повышенного содержания формальдегида является наиболее приоритетной задачей. Существующие в настоящее время приборы, типа СТМ-30, СТМ-30, -01-...-07, -30...-57, Флюорат-02, Флора-СВ и некоторые другие являются контактными, что ограничивает их применение для измерений на больших территориях в сотни метров. В данной работе впервые рассмотрена возможность дистанционного измерения формальдегида в атмосфере на трассе длиной в 1 км на основе метода корреляционной спектроскопии. Выбран подходящий спектральный диапазон, проведен расчет ошибок измерений за счет влияния атмосферных газов и вариации температуры.

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ БИОАЭРОЗОЛЕЙ

А.Я. Суханов^{1,2}, И.В. Петров¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Томский университет систем управления и радиоэлектроники, Россия
say@iao.ru, petrovivanvlad@yandex.ru

Повышение качества жизни людей требует анализа качества воздуха, воды на наличие бактерий, вирусов и различных патогенных веществ. Современные оптические методы на основе лазерно-индуцированной флуоресценции открывают широкие возможности по идентификации и количественной оценке тех или иных видов патогенных организмов. Многие из них относятся к условно патогенным и составляют нормальную флору, но в больших количествах могут вызывать те или иные заболевания при снижении иммунитета. Рассматривается общая задача по возможности идентификации спектров флуоресценции некоторых бактерий с помощью нейронных сетей, определения уровня их содержания или вклада в общий спектр флуоресценции, так чтобы можно было полученные результаты применить в дальнейшем к конкретной задаче восстановления или идентификации в воздушной среде. Предполагается, что в спектре бактерий присутствует в основном случайная составляющая шума, спектры смешиваются линейно, таким образом, уровень присутствия бактерий так же зависит от сечения флуоресценции бактерий. Анализируются несколько модификаций алгоритмов обратного распространения ошибки, а также метод предобучения на основе обратных матриц, показывающий лучшие результаты по скорости и точности идентификации при совместном применении с методом обратного распространения ошибки.

ФОТОПРИЕМНЫЙ МОДУЛЬ НА ЛАВИННОМ ФОТОДИОДЕ В РЕЖИМЕ СЧЕТА ФОТОНОВ

С.Н. Волков^{1,2}, И.В. Самохвалов², S.C. Choi³, D.H. Kim⁴

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

³Research Center, SOLETOP Co., Ltd., Daejeon, Republic of Korea

⁴Hunbat National University, Daejeon, Republic of Korea
snvolk@iao.ru

Исследование окружающей среды прикладными методами, включая лидарное зондирование, зачастую ограничивается доступностью для исследователей детекторов слабых излучений в ближнем и инфракрасном диапазонах. Так называемые модули счета одиночных фотонов или Single Photon Counting Modules (SPCM) от известных производителей, как правило, обладают невысокой экономической эффективностью при постановке и проведении экспериментов. В рамках международного сотрудничества были предприняты попытки решить эту проблему. В настоящее время создан SPCM по чувствительности, стабильности и другим важным характеристикам не уступающий модулям от известных производителей. В тоже время затраты (на комплектующие и производство) не превышают 25% от предлагаемых по каталогам. Этого удалось достичь, используя принцип модульности: SPCM собран из готовых функциональных блоков, не требующих настройки.

Проведенные стендовые испытания показали хорошую повторяемость и стабильность параметров модулей на лавинном фотодиоде в режиме счета фотонов. В настоящее время в Республике Корея готовится установочная серия таких модулей.

Работа выполнена при поддержке Korea Meteorological Administration Research and Development Program (grant No. КМРА 2015-2031) и Минобрнауки РФ в рамках Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета» (проект № 8.1.12.2015).

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПОЛНОГО ИСПАРЕНИЯ ОДИНОЧНОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАПЛИ ВОДЫ В ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ

М.К. Кузьмин¹, А.С. Хасанов²

¹Московский государственный областной университет, Россия

²Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, г. Москва, Россия
mailto: lesir179@infoline.su, ankhasanov@yandex.ru

В работе [1] выведена формула $\dot{R} = f(R, t)$ для скорости изменения \dot{R} радиуса R одиночной аэрозольной капли воды, испаряющейся в воздушную среду. В этой формуле t – время, а при выводе правой части $f(R, t)$ учитываются коэффициент испарения, теплота фазового перехода вещества капли и коэффициент поверхностного натяжения. Формула не позволяет определить зависимость времени полного испарения капли τ от начального радиуса капли R_0 , но по ней можно уловить некоторые закономерности. При малых t выражение $f(R, t)$ мало отличается от выражения $f_1(R) = \lim_{t \rightarrow 0} f(R, t)$. Рассматривая вместо уравнения $\dot{R} = f(R, t)$ задачу Коши $\dot{R} = f_1(R)$, $R(0) = R_0$, можно найти частный интеграл $G_1(R, t, R_0) = 0$. Подставив вместо R условие полного испарения $R = 0$, а вместо t – время полного испарения τ , получим уравнение $G_1(0, \tau, R_0) = 0$, из которого можно получить зависимость $\tau = \varphi_1(R_0)$ при $R_0 \leq 10^{-7}$ м. При больших t выражение $f(R, t)$ мало отличается от выражения $f_2(R) = \lim_{t \rightarrow +\infty} f(R, t)$. Рассматривая вместо уравнения $\dot{R} = f(R, t)$ задачу Коши $\dot{R} = f_2(R)$, $R(0) = R_0$, можно найти частный интеграл $G_2(R, t, R_0) = 0$. Отсюда $G_2(0, \tau, R_0) = 0$, а из этого уравнения можно получить зависимость $\tau = \varphi_2(R_0)$ при $R_0 \leq 10^{-6}$ м. Пусть $R_1 = 10^{-7}$ м, $R_2 = 10^{-6}$ м. Для вывода формулы для зависимости τ от R_0 на промежутке $R_1 \leq R_0 \leq R_2$, полученные два графика $\tau = \varphi_1(R_0)$ при $R_0 \leq R_1$ и $\tau = \varphi_2(R_0)$ при $R_0 \leq R_2$ можно соединить на этом промежутке кубической параболой $\tau = \varphi_3(R_0) = a(R_0 - R_1)^3 + b(R_0 - R_1)^2 + c(R_0 - R_1) + d$, где четыре коэффициента a, b, c, d определяются из двух условий непрерывности $\varphi_3(R_1) = \varphi_1(R_1)$, $\varphi_3(R_2) = \varphi_2(R_2)$ и двух условий гладкости $\varphi_3'(R_1) = \varphi_1'(R_1)$, $\varphi_3'(R_2) = \varphi_2'(R_2)$ искомой зависимости τ от R_0 .

1. Кузьмин М.К. Теория нестационарного процесса испарения сферической аэрозольной капли с учетом зависимости давления насыщенного пара от кривизны ее поверхности. // Вестн. Моск. гос. ун-та. Серия: Физика – математика. 2012. № 3. С. 39–49.

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ТРАССОВЫЙ ФОТОМЕТР

В.Н. Ужegov, Ю.А. Пхалагов, А.П. Ростов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Представлено описание модернизированного автоматизированного многоволнового трассового фотометра (МТФ), служащего для проведения круглосуточных измерений прозрачности приземного слоя атмосферы (общая длина оптической трассы ~ 1000 м) в 16 дискретных точках спектрального диапазона длин волн $0,44 \div 4,65$ мкм. Опыт работы с предыдущими вариантами спектрофотометра [1, 2] позволил улучшить оптико-электронную схему прибора, что не увеличило погрешности измеряемого сигнала, но уменьшило вероятность сбоев в автоматической работе прибора и существенно упростило юстировку оптического тракта.

Электронная часть прибора имеет два микроконтроллера ATmega2561 и ATmega48 [3], а также некоторое количество цифровых и аналоговых микросхем. Они обеспечивают измерение сигналов от фотоприемников и управление всеми устройствами фотометра. Внутреннее программное обеспечение написано на языке Ассемблера, а графический интерфейс пользователя в среде LabView.

1. Ужegov В.Н., Ростов А.П., Пхалагов Ю.А. Автоматизированный трассовый фотометр. // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 7. С. 590–594.
2. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Щелканов Н.Н. Автоматизированный многоволновой измеритель спектральной прозрачности атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1992. Т. 5, № 6. С. 667–671.
3. URL: www.atmel.com

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТИПА САЛЬТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНОГО И ВЕЙВЛЕТНОГО АНАЛИЗА

Г.А. Кузнецов

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
german-710@yandex.ru*

В [1] впервые были обнаружены квазипериодические вариации концентрации сальтирующих песчинок в ветропесчаном потоке на опустыненной территории в диапазоне частот от 100 до 200 Гц. Позже было показано, что в этой полосе частот содержатся узкие спектральные линии. Методами вейвлетного анализа на временной изменчивости концентрации сальтирующих песчинок были выделены квазисинусоидальные цуги длительностью до 8–9 периодов [2].

Предложена методика автоматизированной диагностики параметров квазисинусоидальных цугов.

1. *Gorchakov G.I., Karpov A.V., Kopeikin V.M. et al.* Study of the dynamics of saltating sand grains over desertified territories // Dokl. Earth Sci. 2013. V. 452, N 2. P. 1067–1073.
2. *Gorchakov G.I., Karpov A.V., Kuznetsov G.A., Buntov D.V.* Quasiperiodic Saltation in the Windsand Flux over Desertified Areas // *Atm. Ocean. Optics.* 2016. V. 29, N 6. P. 501–506.

АППАРАТУРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НА САЛЬТАЦИЮ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Д.В. Бунтов

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
dbunt@mail.ru*

В работах [1, 2] показано, что на интенсивность сальтации влияют мелкомасштабные неоднородности на подстилающей поверхности.

Подготовлен аппаратный комплекс для проведения синхронных измерений флуктуаций концентрации сальтации на ровных участках песчаной опустыненной территории и на участках, покрытых мелкомасштабными неоднородностями.

С помощью двух фотоэлектрических счетчиков выполнены измерения флуктуаций концентраций сальтирующих песчинок и функции распределения сальтирующих песчинок по размерам.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-35-00467).

1. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Злобин И.А., Бунтов Д.В., Соколов А.В.* Исследование динамики сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Докл. РАН. 2013. Т. 452, № 1. С. 669–676.
2. *Горчаков Г.И., Карпов А.В., Кузнецов Г.А., Бунтов Д.В.* Квазипериодическая сальтация в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 6. С. 472–477.

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ САЛЬТИРУЮЩИХ ПЕСЧИНОК ПО РАЗМЕРАМ С ПОМОЩЬЮ МАЛОГАБАРИТНОГО СЧЕТЧИКА

А.А. Титов, Р.А. Гуцин, О.И. Даценко

*Московский технологический университет, Россия
dor7338@mail.ru*

В 2014 г. был разработан малогабаритный счетчик сальтирующих песчинок [1] и проведены его полевые испытания. Модернизированный счетчик в 2016 г. использовался для измерения функции распределения сальтирующих песчинок по размерам на песчаной территории вблизи р. Волга. Выполнена предварительная обработка и анализ данных измерений.

1. *Титов А.А., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И.* Малогабаритный счетчик сальтирующих песчинок // Аэрозоли Сибири XXI. Тезисы докл. Томск: ИОА СО РАН, 2014. С. 32.

АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛИКОВ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

К.А. Шмирко^{1,2}, А.Н. Павлов¹, О.Г. Константинов³, А.А. Бобриков^{1,4}

¹Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

³Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

⁴Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия

kshmirko@dvo.ru

Обнаружение пленок нефтепродуктов на морской поверхности является одной из основных задач охраны прибрежных территорий морских портов. С этой целью был создан аппаратный комплекс, состоящий из малогабаритного беспилотного летательного аппарата типа квадрокоптер с установленной на нем поляризационной камерой. Аппарат позволяет выполнять съемку морской поверхности в на RGB камеру в поляризованном свете. Поступающие данные телеметрии позволяют выполнить географическую привязку изображения к местности. Серия натуральных экспериментов показала хорошее совпадение между наблюдаемыми контрастами слик/чистая морская поверхность и расчетными [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (соглашение № 14-50-00034).

1. Шмирко К.А., Павлов А.Н., Бобриков А.А. Расчет отраженного взволнованной морской поверхностью диффузного солнечного излучения // Вестн. ДВО РАН. 2015. № 3. С. 36–44.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТЕКСТУРЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В.П. Галилейский¹, А.И. Елизаров^{1,2}, Д.В. Кокарев¹, А.М. Морозов¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

alex@iao.ru

При анализе изображений одним значимых параметром является текстура, которая присутствует во всех изображениях. В настоящее время для измерения и описания текстур изображения существует множество методов. При решении задачи обработки и классификации изображений, например облачности, наиболее часто используется метод, основанный на описании текстурных признаков с помощью матрицы смежности значений яркости. Значительный объем вычислений, связанный с расчетом матрицы смежности и ее дальнейшим анализом, а также проблема выбора информативных признаков накладывают ограничения на использование такого подхода.

Нами предлагается описывать текстуру изображения с помощью метода, основанного на применении локальных бинарных шаблонов [1]. Метод описывает пространственную структуру изображения по локальной структуре текстуры с помощью построения гистограмм таких шаблонов. Для построения гистограммы значение каждого пикселя исходного изображения преобразуется в ходе нескольких этапов. Базовый оператор бинарного шаблона, применяемый к пикселю изображения, использует восемь пикселей окрестности, принимая значение интенсивности центрального пикселя в качестве порога. Методы распознавания и классификации, которые используют для выделения признаков локальные бинарные шаблоны и их модификации, демонстрируют высокие результаты как по скорости (по сравнению с методами, базирующимися на вычислении матрицы смежности), так и по точности.

1. Ojala T., Pietikäinen M., Mäenpää T. Multiresolution Gray-scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002. V. 24, N 7. p. 971–987.

МОНИТОРИНГ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ГОРНОМ ВОДОСБОРЕ

В.В. Зувев, С.А. Кураков, И.А. Суторихин, А.А. Синельников

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

Hasslhoph@yandex.ru

Основа гидрологического мониторинга закладывается в проведении наблюдений, измерений и исследований, связанных с изучением гидрологического режимов рек и водохранилищ. В июле 2015 г. сотрудниками

ИМКЭС СО РАН и ИВЭП СО РАН в бассейне р. Майма было установлено три автономных измерительных комплекса. Каждый из комплексов оснащен датчиками для измерения количества жидких осадков, температуры и влажности воздуха, температуры воды, атмосферного давления, высоты снежного покрова, скорости и направления ветра, температуры и влажности почвы, солнечной радиации.

Каждые 3 часа по радиоканалу данные отправляются на сервер в ИМКЭС СО РАН, затем с помощью специального программного обеспечения, они принимаются сотрудниками ИВЭП СО РАН.

Данные с комплексов позволяют своевременно отслеживать динамику изменения высоты снежного покрова, температуры почвы, изменения уровня воды в бассейне.

Автономные измерительные комплексы достаточно точно отображают состояние бассейна реки и могут служить хорошим инструментом для прогнозирования паводков и половодий.

СИНХРОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЧЕТНО-МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ АКТИВНЫМИ И ПАССИВНЫМИ МЕТОДАМИ НА ОБСЕРВАТОРИИ «ФОНОВАЯ» ОСЕНЬЮ 2016 г.

Б.Д. Белан¹, Д.В. Симоненков¹, А.В. Таловская², М.П. Тентюков³,
А.В. Фофонов¹, Е.Г. Язиков²

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

³Сыктывкарский государственный университет, республика Коми, Россия

simon@iao.ru

В первой декаде сентября 2016 г. на обсерватории «Фоновая» был установлен заборник пассивного пробоотбора [1], заряженный фильтроматериалом типа «Белая лента». В этот же период на работающем в этом же измерительном пункте аэрозольном счетчике Grimm 1.109 произведена замена накопительного тefлонового фильтра. Планируемая продолжительность экспериментального пробоотбора – 2 мес. По его окончании в первой декаде ноября все фильтроматериалы будут сразу отправлены на гранулометрический анализ, и произведена интеркалибровка активного и пассивного методов отбора аэрозоля.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 15, программы ОНЗ РАН, грантов РФФИ №№ 14-05-00526, 14-05-00590, госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 (идентификационный номер RFMTFIBBB210290), № 14.613.21.0013 (идентификационный номер RFMEFI61314X0013), Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

1. Тентюков М.П. Способ и устройство для экспонирования контейнеров для сбора сухих аэрозолей на безлесных территориях. Патент RU 2459191 С1. Заявка 2010150949/05 от 13.12.2010.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОКАЗАНИЙ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА AIRS/AQUA К ВАРИАЦИЯМ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Е.Ю. Мордвин, А.А. Лагутин, З.Т. Сормисоков

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

zion0210@gmail.com

При разработке новых гиперспектральных приборов ИК-диапазона космического базирования и алгоритмов восстановления геофизических параметров системы «атмосфера – подстилающая поверхность» по получаемыми этими приборами данным решаются как прямые задачи, позволяющие устанавливать связи между показаниями каналов спутникового прибора и характеристиками системы, так и задачи чувствительности показаний прибора к вариациям ее характеристик.

В докладе обсуждается созданный авторами вычислительный комплекс для исследования чувствительности показаний каналов гиперспектрометра AIRS спутника Aqua к вариациям характеристик атмосферы и подстилающей поверхности. Основными блоками этого комплекса являются: 1) код LBLRTM (Line-By-Line Radiative Transfer Model), позволяющий проводить расчет интенсивности уходящего излучения методом полинейного счета с высоким спектральным разрешением (до $0,001 \text{ см}^{-1}$); 2) программы подготовки необходимых

для LBLRTM характеристик атмосферы и подстилающей поверхности; 3) основной программы для расчета интенсивностей ИК-излучения в каждом канале зондирующего и соответствующих им яркостных температур, а также коэффициентов дифференциальной чувствительности показаний каналов AIRS к вариациям свойств атмосферы. Ключевым элементом последнего блока комплекса являются полученные авторами аналитически новые результаты по дифференциальной чувствительности показаний гиперспектрометров ИК-диапазона к вариациям характеристик системы «атмосфера – подстилающая поверхность».

В докладе представлены численные результаты по коэффициентам дифференциальной чувствительности показаний гиперспектрометра к вариациям профилей температуры, водяного пара, метана и объемного коэффициента ослабления, иллюстрирующие возможности созданного вычислительного комплекса. Подробно обсуждается чувствительность показаний AIRS к вариациям содержания метана в нижней тропосфере.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (государственное задание на проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, выполняемых в Алтайском государственном университете).

КРАТКИЙ ИТОГ ГОДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НЕБА НА ПАНОРАМНО-ОПТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «TOMSKY»

В.П. Галилейский¹, А.И. Елизаров^{1,2}, Д.В. Кокарев¹,
А.М. Морозов¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
gvp@iao.ru

В ИОА СО РАН создается панорамно-оптическая станция (ПОС) TomSky, назначение, которой – круглосуточный контроль оптического состояния неба. В период полугодовых наблюдений с весны 2015 г. по осень 2016 г. было зарегистрировано множество интересных и необычных явлений, произошедших над Томском:

- различные типы облачности, включая Серебристые облака;
- разнообразные атмосферно-оптические явления;
- полярные сияния;
- инверсионные следы самолетов;
- запуски космических и баллистических ракет;
- полеты космических спутников, ярких метеоров.
- звезды и планеты ярче $6,5^m$.

Показательный пример этому – наблюдения отражения городских фонарей на слое облачности из плоских ледяных кристаллов, в результате чего как в зеркале отражалась световая карта окружающей местности. Особенно заметно проявляются линии освещенных дорог.

Наблюдения, проводимые с помощью Панорамно-оптических станций типа «TomSky», предоставляют широкие возможности для многостороннего мониторинга, как оптического состояния атмосферы, так и событий происходящих в этом пространстве.

1. Галилейский В.П., Морозов А.М. Панорамный фотометрический комплекс // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6, № 9. С. 1131–1135.
2. Маричев В.Н., Галилейский В.П., Кузьменков Д.О., Морозов А.М. Экспериментальные наблюдения зеркального отражения лазерного излучения от ориентированных кристаллических частиц, сосредоточенных в слое атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 12. С. 1145–1147.
3. Borovoi A., Galileiski V., Morozov A., Cohen A. // Opt. Express. 2008. V. 16, N 11. P. 7625–7633.

ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ОБЛАЧНОСТИ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ALLSKY

В.П. Галилейский¹, А.И. Елизаров^{1,2}, Д.В. Кокарев¹,
А.М. Морозов¹

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
gvp@iao.ru

В настоящее время в мире существует множество широкообзорных станций с применением камер всего неба (Allsky). Наибольшее применения они получили в метеорологии. С их помощью проводят изучение облачного покрова, определяют индексы ультрафиолетового излучения, скорость ветра в облачном слое по наблюдению за облачностью. Благодаря разработанной программно-технической системе Allsky появляется возможность осуществлять мониторинг облачности и контролировать состояния атмосферы [1]. Для регистрации небосвода, используется однокамерное панорамное устройство со сверхширокоугольным объективом типа «рыбий глаз». Основным преимуществом, по сравнению с аналогичными системами, является высокое пространственное разрешение. Информация, получаемая с такой системы, используется в первую очередь, для анализа текущей обстановки, например для определения балла облачности, и направления движения.

На базе разнесенных в пространстве широкообзорных фотометрических систем предлагается методика бесконтактного определения видимой нижней границы облаков. Данная методика позволит расширить функциональные возможности наблюдений за счет автоматизации определения высоты нижней границы облачности в реальном масштабе времени по смещению ее пространственной структуры.

1. Galileiskii V.P., Elizarov A.I., Kokarev D.V., Morozov A.M. Direction and movement angular velocity determining of cloudiness with panoramic images of the sky // Proc. SPIE. 9292, 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 929212 (November 25, 2014). DOI: 10.1117/12.2074811.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ, ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВЕТРОВЫХ ПОЛЕЙ В АТМОСФЕРЕ»

ДЕФИЦИТ КОГЕРЕНТНОСТИ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

И.П. Лукин

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lukin_ip@iao.ru*

Проводится теоретическое исследование когерентных свойств вихревых оптических пучков, распространяющихся в случайно-неоднородной среде. При анализе этой задачи используется аналитическое решение уравнения для поперечной функции взаимной когерентности второго порядка поля оптического излучения. Конкретно исследовано поведение интегрального масштаба степени когерентности вихревых бесселевых оптических пучков в зависимости от параметров вихревого оптического пучка и характеристик случайно-неоднородной среды. Показано, что интегральный масштаб степени когерентности вихревого бесселева оптического пучка существенно зависит от величины топологического заряда вихревого оптического пучка. С увеличением топологического заряда вихревого бесселева оптического пучка величина интегрального масштаба степени когерентности вихревого бесселева оптического пучка уменьшается.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-08-00899 А).

ПАССИВНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ВЕТРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИДЕОРЕЯДА НЕКОГЕРЕНТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ

А.Л. Афанасьев, В.В. Дудоров, А.С. Еремина, А.П. Ростов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
dvv@iao.ru*

Предлагается метод определения профиля скорости поперечного ветра на основе анализа видеоряда некогерентных изображений. Методом численного моделирования получено, что для ряда турбулентных условий и характеристик наблюдаемого объекта возможно определение скорости смещения нескольких (не меньше трех) участков турбулентной атмосферы, расположенных на различном расстоянии между наблюдаемым объектом и приемной оптической системой. Представлены результаты апробации метода на основе обработки видеоряда реального объекта на атмосферной трассе протяженностью 500 м. На основе сравнения результатов обработки изображений с измерениями скорости ветра вдоль трассы наблюдения продемонстрирована удовлетворительная точность метода при определении скорости ветра на близлежащих к наблюдателю участках трассы, а также средней скорости ветра вдоль всей трассы наблюдения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-8199.2016.5

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРАССЕ ЛИДАРОМ УОР-2

И.А. Разенков, В.А. Банах

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lidaroff@iao.ru*

Были продолжены исследования термической турбулентности в приземном слое атмосферы с помощью лидара УОР-2, работающего на эффекте усиления обратного рассеяния. Измерения проводились регулярно с февраля по октябрь 2016 г. Трасса зондирования длиной 2 км была горизонтальной. Лидар регистрировал коэффициент усиления обратного рассеяния, который сравнивался с данными датчика дрожания изображения белого подсвеченного сзади матового диска на черном фоне, расположенного на удалении 2 км. Приемник датчика дрожания состоял из 100 мм телескопа Максудова и матрицы веб-камеры, которая регистрировала положение центра тяжести изображения диска с частотой 15 Гц. Дисперсия дрожания оценивалась в угловых секундах. Измерения проводились непрерывно в темное и светлое время суток. Уровень корреляции между лидарным фактором усиления на дистанции 2 км и дисперсией датчика дрожания составлял примерно 80%.

Фактор усиления обратного рассеяния является интегральной характеристикой и его пространственный профиль представляет собой некую монотонно-возрастающую функцию. Первая производная фактора усиления изменяется от нуля при отсутствии турбулентности, когда сам фактор равен единице, либо принимает некоторое положительное значение, пропорциональное уровню турбулентности, когда фактор усиления возрастает. Для наглядности производная фактора усиления была представлена в виде пространственно-временного изображения. Такое представление данных позволило локализовать зоны с высокой интенсивностью турбулентности и проследить динамику процесса в течение многочасового эксперимента.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-42-700072).

ЛИДАРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РЕГИСТРАЦИИ ПИКА УСИЛЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

И.А. Разенков, В.А. Банах, А.И. Надеев

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lidaroff@iao.ru*

В 2014 г. был создан экспериментальный образец турбулентного лидара, работающего на эффекте усиления обратного рассеяния (УОР), который возникает в турбулентной атмосфере при двухкратном распространении света через одни и те же неоднородности среды. Установка была дополнена третьим приемным каналом, предназначенным для регистрации профиля пика усиления обратного рассеяния. Для этого в осевой приемопередаточный канал лидара под углом 45° была установлена светоделительная пластинка диаметром 75 мм, которая 80% излучения пропускала, а 20% отражала. В проходящий отраженный пучок был помещен маленький объектив диаметром 10 мм, который располагался на подвижной платформе, управляемой от компьютера. С помощью этого объектива осуществлялось сканирование распределения мощности проходящего излучения в осевом приемном канале лидара, диффузно отраженного от топоцели на дистанции 2 км.

Дополнительный приемный канал имел большое поле зрения и поэтому работал только в темное время суток. Сканирование осуществлялось с шагом 5 мм, время накопления сигнала на каждом шаге составляло 5 мин. Делалось 10 шагов в одном направлении, затем 10 шагов – в обратном. Сканирование осуществлялось автоматически в течение ночи. Эксперименты проводились в зимнее время при наличии существенных температурных градиентов, когда фактор усиления обратного рассеяния на трассе 2 км мог достигать значения 1,8–2,0. Размер регистрируемого пика обратного рассеяния по поперечине составлял 15–20 мм.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-42-700072).

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ЛИДАРА УОР-3

И.А. Разенков, В.А. Банах, А.И. Надеев, Н.Г. Зайцев, А.Н. Грицута, Е.В. Гордеев

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lidaroff@iao.ru*

В 2015 г. в Институте оптики атмосферы создан экспериментальный образец турбулентного лидара УОР-3, работающий на эффекте усиления обратного рассеяния. В новом лидаре в качестве приемо-передающего телескопа применяется 300 мм афокальный телескоп Мерсена с увеличением 15×. В качестве источника лазерного излучения был выбран лазер Cobolt (532 нм, 400 мВт) с пассивным модулятором. В качестве антенного переключателя применили тонкопленочный поляризатор в паре с четверть волновой пластинкой.

В осевом и внеосевом приемных каналах были установлены модули фирмы MPD на лавинно-пролетных диодах, имеющих квантовую эффективность $\approx 50\%$. В качестве эксперимента было решено не использовать традиционный пространственный фильтр для задания поля зрения лидара, поэтому эту роль выполняют непосредственно фотодетекторы, имеющие размер площадки 100 мкм. Это существенно упростило конструкцию. Поля зрения приемных каналов составили 266 мкрад.

Результаты параллельной работы лидаров УОР-2 и УОР-3 на 2 км горизонтальной трассе совпали. Затем трасса лидара УОР-3 была выбрана слегка выше линии горизонта. При 5 мин интервале накопления данных система нормально работает до дистанции 10 км днем и до 5 км ночью. Фактор усиления обратного рассеяния, как правило, монотонно растет с расстоянием и в зависимости от состояния атмосферы может существенно превышать значение 2. Лидар может стабильно работать продолжительное время.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-42-700072).

ПРИГОДНОСТЬ КРИТЕРИЯ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ С ДВУМЯ МАКСИМУМАМИ

Н.А. Вострецов, А.Ф. Жуков

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
vna@iao.ru*

Эта работа является продолжением наших исследований возможностей критерия по первому выходу значений аппроксимирующего распределения из области сравнения для аппроксимации распределений плотности вероятностей случайного сигнала, в случае зависимых и не зависимых значений исследуемого сигнала. Проведен модельный эксперимент. Исследуемый сигнал представлял сумму гармонического процесса и случайного гауссовского шума. Распределение исследуемого сигнала имеет форму распределения с двумя максимумами. Проведена аппроксимация экспериментальных распределений плотности вероятностей распределения с двумя максимумами с помощью критерия по первому выходу значений аппроксимирующего распределения из области сравнения. Показана пригодность критерия первого выхода значений аппроксимирующего распределения из области сравнения для аппроксимации экспериментальных распределений измеренных как для зависимых, так и для независимых выборок значений исследуемого сигнала.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УДАЛЕННОМ ОБЪЕКТЕ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

А.П. Ростов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
rostov@iao.ru*

Показана возможность увеличения мощности лазерного излучения видимого диапазона длин волн на приземных трассах до 500 м.

Проведена серия экспериментальных работ по определению зависимости увеличения мощности лазерного пучка от уровня турбулентности [1]. Для компенсации турбулентных и аппаратных искажений лазерного пучка использовалось гибкое зеркало, управляемое оптимизирующим процессором [2]. В качестве функционала оптимизации использовался оптический сигнал от уголкового отражателя, расположенного в конце трассы.

Эксперименты проводились на Базовом экспериментальном комплексе летом 2016 г в дневное время при различных уровнях турбулентности.

Получено устойчивое увеличение средней мощности оптического сигнала при различных уровнях турбулентности.

1. Гурвич А.С., Кон А.И., Миронов В.Л., Хмелевцов С.С. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1976. 277 с.
2. Ростов А.П. Многопроцессорный оптимизирующий контроллер для передающей лазерной системы лидарного типа // Оптика атмосф. и океана. Физика атмосферы: Сборник докладов XX Междунар. симп. [Электронный ресурс – 1 CD-ROM]. ISBN 978-5-94458-145-7. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2014. С. D101–D104.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДА КОНИЧЕСКОГО СКАНИРОВАНИЯ И ДВУХЛУЧЕВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ ПРОФИЛЯ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ВЕТРА ДОПЛЕРОВСКИМ ЛИДАРОМ STREAM LINE

В.А. Банах, И.Н. Смалихо, А.А. Сухарев, Е.В. Гордеев, А.В. Фалиц

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
falits@iao.ru*

Представлены результаты экспериментального сравнения скорости и направления ветра, получаемые при использовании двух стратегий измерений импульсным когерентным доплеровским лидаром: (1) двухлучевой метод и (2) метод конического сканирования, при различных значениях временного интервала усреднения. Измерения скорости ветра выполнялись с помощью импульсного когерентного доплеровского лидара Stream Line (HALO Photonics, Великобритания). Полученные результаты измерений вектора скорости ветра сравниваются с данными измерений акустической метеостанции.

Двухлучевой метод измерения планируется использовать для оценки скорости и направления ветра с использованием импульсного когерентного доплеровского лидара при малых значениях угла места и вдоль горизонтальных атмосферных трасс.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-42-700072).

ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ОПТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ МОДЕЛИ ОГНЕННОГО СМЕРЧА

М.В. Шерстобитов, Р.Ш. Цвык, В.М. Сазанович

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Иногда, во время больших пожаров, конвективная колонка закручивается и образуется колоннообразный дымо-огненный вихрь. По аналогии с атмосферным торнадо, такое явление называется огненным смерчем.

В представленной работе проведено физическое моделирование огненного смерча. Получены спектры флуктуаций интенсивности лазерного излучения, прошедшего модель. На основе анализа спектров получен размер оптических неоднородностей вихревого пламени модели. Проведена тепловизионная регистрация процесса горения с частотой 528 Гц. Проведен с помощью БПФ анализ тепловизионных данных. Проведены оценки частоты вращения вихревого пламени модели в различных точках изображения пламени на термограммах.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ИСКАЖЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ЧЕРЕЗ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ОБТЕКАНИИ ТУРЕЛИ И КОНУСОБРАЗНОГО ТЕЛА СВЕРХЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

А.А. Сухарев

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Представлены результаты анализа средней интенсивности, флуктуаций интенсивности и регулярных и случайных смещений оптических пучков, распространяющихся через ударную волну, образующуюся при сверхзвуковом обтекании потоком воздуха турели и конусообразного тела в турбулентной атмосфере. Показано, что

с усилением оптической турбулентности влияние ударной волны, образующейся при сверхзвуковом обтекании турели, настолько сильно, что даже при наихудших условиях по турбулентности воздействие ударной волны на пучок остается преобладающим.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-08-06549.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ВЕТРОВОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ИЗ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИДАРОМ «STREAM LINE»

И.Н. Смалихо, В.А. Банах, А.В. Фалиц

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
smalikho@iao.ru*

Исследуются возможности определения параметров ветровой турбулентности: кинетической энергии турбулентности, скорости диссипации энергии турбулентности и внешнего масштаба ветровой турбулентности из данных, измеряемых импульсным когерентным доплеровским лидаром «Stream Line» при коническом сканировании зондирующим пучком. Показано, что оценивание кинетической энергии из таких данных возможно вне зависимости от степени анизотропии турбулентности, если угол места составляет $35,26^\circ$. Летом 2016 г. на Базовом экспериментальном комплексе ИОА СО РАН нами был проведен лидарный эксперимент. Из исходных данных этого эксперимента осуществлена пространственно-временная визуализация всех указанных выше параметров турбулентности с разрешением по высоте 10 м (в слое 100–500 м) и разрешением по времени 30 мин (в течение трех полных суток). Анализ результатов эксперимента показал, что структура турбулентности хорошо описывается моделью Кармана в слое интенсивного перемешивания. Из измерений в ночное время при сильно устойчивой температурной стратификации определение внешнего масштаба турбулентности с использованием модели Кармана, для которой внешний масштаб зависит только от кинетической энергии турбулентности и ее скорости диссипации, не представляется возможным. Проведено сопоставление суточных ходов кинетической энергии турбулентности, полученных из совместных измерений лидаром и акустическим анемометром на высотах 100 и 43 м соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00668).

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН, ГЕНЕРИРУЕМЫХ СВЕРХЗВУКОВОЙ ЗАТОПЛЕННОЙ СТРУЕЙ

Р.Ш. Цвык¹, Д.А. Маракасов¹, Д.А. Губанов², Н.П. Киселев², В.М. Сазанович¹, А.Н. Шестернин¹

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
tsvyk@iao.ru; mda@iao.ru; Gubanov.Dm@gmail.com; nkiselev@itam.nsc.ru; sazanovich@iao.ru; can@iao.ru*

Истечение сверхзвуковой струи (СС) сопровождается возбуждением акустических волн, порождаемых как случайными неоднородностями в струе, так и наличием регулярной конфигурации скачков уплотнения (бочек). В итоге, наряду с широкополосной компонентой акустического поля, вызванной вихрями в слое смешения в СС, в спектрах мощности звука на характерных частотах появляются максимумы (под различными названиями – дискретная, тоновая, скрич), соответствующие размеру бочек. Развитие неустойчивостей рассмотрено в монографии [1].

В работе представлены результаты экспериментальных исследований акустического поля, генерируемого СС на аэродинамической трубе ИТПМ СО РАН. Затопленная струя выходила вертикально вверх в достаточно большое помещение. Измерения выполнены 9 микрофонами, которые размещены на кольце радиусом 265 мм, которое перемещалось по вертикали. Входы микрофонов установлены на радиусе 235 мм симметрично относительно оси струи. Рассматриваются временные спектры акустического поля при различных скоростях струи и высотах. Основной вывод заключается в том, что дискретные (тоновые) максимумы являются не одночастотными колебаниями, а волновыми пакетами шириной полосы порядка 25–30 Гц, которые включают различное количество (5–7) отдельных линий генерации. Вызываются эти частоты неустойчивостью бочек, размер и спектр флуктуаций которых определяет условия возникновения автоколебаний.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-08-06549а).

1. *Струйные и нестационарные течения в газовой динамике* / Под ред. д.ф.-м.н. С.А. Гапонова, А.А. Маслова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 200 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАЗЕРНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

Д.А. Маракасов, В.М. Сазанович, Р.Ш. Цвык, А.Н. Шестернин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
mda@iao.ru

Представлены результаты восстановления характеристик поля турбулентности в осесимметричной затопленной сверхзвуковой струе из данных лазерного просвечивания. На основе анализа временных спектров интенсивности возмущенного струей лазерного излучения предложена степенная модель для спектра флуктуаций плотности. Построены зависимости параметров модели – структурной характеристики и показателя – от расстояний от оси струи и от среза сопла при различных значениях параметров струи.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-08-06549а).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО РАДИУСА ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Д.А. Маракасов, Д.С. Рычков

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
dsr@iao.ru

Обсуждаются способы оценки эффективного радиуса вихревых лазерных пучков, распространяющихся в турбулентной атмосфере. Проведено сравнение оценок эффективного радиуса пучка, полученных при помощи метода линий тока среднего вектора Пойнтинга и прямого расчета средней интенсивности лазерного пучка. Рассмотрен переход в режим сильных флуктуаций интенсивности, получены формула для оценки функции взаимной когерентности поля прошедшей трассу волны, и оценка эффективного радиуса на ее основе.

МАКЕТ ПАССИВНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СРЕДНЕГО ПОПЕРЕЧНОГО ВЕТРА

А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, Е.В. Гордеев, Д.А. Маракасов, И.А. Разенков, А.П. Ростов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
mda@iao.ru

Представлен макет пассивного оптического измерителя среднего поперечного ветра (ПОИСПВ). Макет позволяет оценивать в режиме реального времени горизонтальную поперечную компоненту интегральной вдоль трассы скорости ветра из статистики дрожаний энергетических центров тяжести изображений удаленных топографических объектов. Представлены технические характеристики макета, его функциональная схема и программное обеспечение, а также результаты тестирования макета на полигоне БЭК ИОА СО РАН в 2016 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-04210).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЙ МАКЕТА ПАССИВНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СРЕДНЕГО ПОПЕРЕЧНОГО ВЕТРА

А.Л. Афанасьев¹, В.А. Банах¹, Д.А. Маракасов¹, А.А. Сухарев¹, А.В. Фалиц¹,
В.А. Аксенов², М.И. Тивилева², Е.В. Шишкин²

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Сибирский филиал ФКУ НПО «СпецТехника и Связь» МВД России, г. Новосибирск, Россия*
mda@iao.ru

Представлены результаты испытаний макета пассивного оптического измерителя среднего поперечного ветра (ПОИСПВ). Эксперименты проводились на трассах длиной от 500 до 3200 м в г. Томске и на территории Испытательной станции Сибирского филиала ФКУ НПО «СТиС» МВД России (г. Новосибирск). Оценки горизонтального поперечного ветра ПОИСПВ сопоставляются с результатами измерений скорости ветра независи-

мыми средствами, локальными (акустические метеостанции) и осредненными по пространству (результаты конечного сканирования лидаром «Stream Line»). Показана возможность повышения эффективности стрельбы из стрелкового оружия при использовании оценок скорости ветра, полученных с помощью макета ПОИСПВ для формирования боковых поправок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-04210).

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОРРЕКЦИИ АБЕРРАЦИЙ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ПО СИГНАЛУ ОБРАТНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО РАССЕЯНИЯ

Е.В. Гордеев¹, В.В. Кусков^{1,2}, И.А. Разенков¹

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*
vvk@iao.ru

В ходе работы передающих систем, работающих с мощным лазерным излучением, могут возникать термомодеформации оптических элементов, которые приводят к появлению случайных начальных аберраций волнового фронта лазерного пучка. Наличие начальных аберраций приводит к уширению пучка, которое может значительно превышать дифракционное и турбулентное уширения, тем самым играя основную роль в падении плотности мощности излучения в приосевой области лазерного пучка. В созданную ранее на базовом экспериментальном комплексе ИОА СО РАН экспериментальную установку было внесено дополнительное устройство (датчик Шака–Гартмана) для проведения контроля качества подавления начальных аберраций. Для работы использовались два лазерных источника: основной и зондирующий, излучение которых распространялось соосно по горизонтальной трассе. Аберрации искусственно вносились с помощью управляемого гибкого зеркала, моделируя случайные искажения волнового фронта. Тип начальных искажений волнового фронта основного пучка автоматически определялся и распознавался на датчике Шака–Гартмана, что позволяло контролировать работу и качество компенсации аберраций адаптивной системой.

В результате проведенных экспериментов установлено, что после работы адаптивной системы по сигналу обратного аэрозольного рассеяния зондирующего пучка происходит компенсация искусственно вносимых аберраций и основного пучка.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-08-00899).

КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ЛАГЕРР-ГАУССОВА ПУЧКА, ОТРАЖЕННОГО ОТ ДИФFUЗНОЙ МИШЕНИ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ТРАССЕ

Д.С. Рычков

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
dsr@iao.ru

Представлены результаты исследования методами численного моделирования эффекта усиления обратного рассеяния для вихревого Лагерр-Гауссова лазерного пучка, распространяющегося на локационной трассе в турбулентной атмосфере. Рассмотрена задача с отражением пучка от диффузной мишени конечных размеров. Исследована зависимость коэффициента усиления средней интенсивности обратной волны от интенсивности оптической турбулентности на трассе.

МЕТОД СОВМЕСТНОГО УЧЕТА ТУРБУЛЕНТНЫХ И АЭРОЗОЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УДАЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В.В. Дудоров

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
dvv@iao.ru*

Предлагается метод совместного учета влияния турбулентных (рефракционных) и аэрозольных (рассеивающих) искажений атмосферы на формирование изображений удаленных объектов при естественном освещении и подсветке лазерным пучком. Метод реализован в рамках совместного решения параболического уравнения и уравнения для функции яркости методом расщепления по физическим факторам. Моделирование турбулентных искажений выполнено на основе традиционного метода фазовых экранов. Метод моделирования аэрозольного рассеяния также основан на разбиении дистанции между объектом и наблюдателем на ограниченное число статистически независимых рассеивающих слоев, для каждого из которых в приближении однократного рассеяния формируется когерентная (для рассеяния вперед) и некогерентная (для рассеяния вперед и назад) компоненты рассеянного поля. Показано, что в условиях умеренного ослабления излучения (в рамках приближения однократного рассеяния) турбулентными искажениями рассеянного вперед поля можно пренебречь. Также предложена упрощенная модель учета излучения естественного фона на контраст формируемого изображения при естественном освещении в светлое время суток.

ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА ПО СПЕКТРАМ ДРОЖАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, Д.А. Маракасов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
afanasiev@iao.ru*

Представлены результаты обработки данных натурных экспериментов по отработке методики пассивных оптических измерений поперечной к направлению визирования интегральной скорости ветра в атмосфере. Рассмотрены особенности спектрального подхода при оценках величины скорости. Проведено сравнение с оценками по задержке максимума корреляционной функции и данными акустических измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-04210).

УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРА ГОРЯЩИХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТЫ

М.В. Агафонцев¹, Е.Л. Лобода¹, Д.П. Касымов¹, А.И. Фильков¹, В.В. Рейно², Е.В. Гордеев²

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
loboda@mail.tsu.ru, reyno@iao.ru*

Описано устройство для подачи шнеком из бункера растительных горючих материалов в виде коры, веточек в струю горячих газов с последующим выбросом горящих частиц и дыма в окружающую среду на дистанцию до 10 м. Предполагается проводить исследования по воздействию природных пожаров на возгорание хозяйственных построек, травы и подлеска. Конструкция генератора позволяет широко варьировать энергетическими характеристиками потока горящих частиц. Установка оснащена измерительным комплексом для измерения температур, тепловых потоков и скорости воздушных потоков. Разработана и изготовлена в ИОА СО РАН.

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 13.1624.2014/К и Программы ОФН РАН «Фундаментальные проблемы электродинамики и волновой диагностики атмосферы»

КРУГЛЫЙ СТОЛ

«ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ: МЕТОДЫ, АППАРАТУРА, ИССЛЕДОВАНИЯ»

РАЗРАБОТКА СЕМЕЙСТВА ФОТОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

Е.С. Шевцов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
shevtsoves@mail.ru*

Можно перечислить множество сфер науки и техники, в которых существует необходимость регистрации слабых оптических сигналов ближнего инфракрасного диапазона. Как правило, для этих нужд применяются устройства на основе фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) и лавинных фотодиодов (ЛФД). Приборы на основе ФЭУ имеют более широкий динамический диапазон, однако в инфракрасной области обладают на порядок меньшей квантовой эффективностью по сравнению с ЛФД. На общую эффективность модуля счета фотонов влияет ряд параметров: температура кристалла, величина обратного смещения, способ гашения лавины. Экспериментальная оценка характеристик фотоприемных модулей требует трудоемких измерений в лабораторных условиях с поочередным перебором этих параметров и анализом полученных результатов. Поэтому было принято решение разработать семейство фотоприемных устройств с микропроцессорным управлением на базе ЛФД и ФЭУ, работающих как в режиме счета фотонов, так и в аналоговом режиме. Особенностью разрабатываемых устройств является возможность менять во время работы с помощью внешнего управляющего устройства, например ПК, такие параметры, как напряжение обратного смещения фотодиода, температура кристалла для устройств на базе ЛФД, порог срабатывания, чувствительность, коэффициент усиления для устройств с ФЭУ. В фотоприемных устройствах имеется возможность отключать по внешнему стробирующему сигналу все внутренние источники импульсных помех. Это позволит значительно уменьшить наводимый шум в ходе измерений лидарного сигнала, длительность которого обычно меньше миллисекунды. Для ускорения разработки и унификации используемых компонентов семейство фотоприемников спроектировано таким образом, что модули формируются из общих для всех устройств блоков: источников питания, микропроцессорной подсистемы, интерфейса связи RS-485.

СЕМЕЙСТВО СЧЕТЧИКОВ ФОТОНОВ ДЛЯ ЛИДАРНЫХ СИСТЕМ

Н.Г. Зайцев

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
kolan317_1@mail.ru*

Прием оптического сигнала в режиме счета фотонов находит широкое применение в различных сферах научных исследований, связанных с регистрацией излучения малой интенсивности. В качестве примера можно привести использование этого режима при построении лидаров различного назначения. Основными компонентами системы счета фотонов являются: фотоприемный модуль с аналоговым или цифровым выходом, поддерживающий режим счета фотонов и цифровой модуль, предназначенный для регистрации фотоэлектронов и передачи данных в персональный компьютер. В ИОА сотрудниками центра лазерного зондирования проведена разработка, подготовлена документация и изготовлены образцы семейства счетчиков фотонов, оптимизированных для работы в составе лидарных систем.

В докладе приводятся технические характеристики линейки счетчиков фотонов, краткое описание их отличий между собой и с модулями счета фотонов фирмы Becker & Hickl GmbH. Многоканальные устройства регистрации можно использовать совместно с любыми фотоприемниками, обеспечивающими в режиме счета фотонов уровень выходного сигнала не менее 5 мВ на нагрузке 50 Ом. Динамический диапазон оптического

сигнала, выраженный через скорость поступления фотонов в секунду, укладывается в диапазон от единиц до 600 МГц. Пространственное разрешение определяется длительностью временного строба находится в диапазоне от 5 нс (0,75 м) до 20 нс (3 м) с мертвым временем между стробами менее 100 пс. Количество стробов в каждом канале 2048.

МИКРОИМПУЛЬСНАЯ ЛИДАРНАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА УСИЛЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

И.А. Разенков

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lidaroff@iao.ru*

Следствием эффекта усиления обратного рассеяния (УОР) в турбулентной атмосфере является повышение отраженного от мишени или рассеянного атмосферой сигнала на оси лазерного пучка. С одной стороны, это означает, что создаваемый приемно-передатчик турбулентного лидара должен обеспечить абсолютное совпадение передаваемого в атмосферу зондирующего пучка с приходящим обратно пучком. С другой стороны, размеры уходящего и приходящего пучков должны быть небольшими и не превышать масштаб Френеля (~ 50 мм), чтобы не было «размывания» УОР-эффекта. Все сказанное выше означает, что зондирующие световые импульсы должны быть слабыми, чтобы не повредить фотодетектор, а размер приемной антенны должен быть маленьким, чтобы эффект УОР был зарегистрирован. Единственным выходом представляется использование лазера с низкоэнергетическими импульсами и высокой частотой их следования, чтобы сохранить средний уровень передаваемой в атмосферу мощности и обеспечить разумный уровень эхосигнала, регистрируемого в режиме счета фотонов.

На основе уже имеющегося опыта рассматривается несколько вариантов построения лидарного приемно-передатчика. С целью создания компактного и недорогого турбулентного УОР-лидара предлагается использование внеосевых параболических зеркал. С целью повышения чувствительности прибора предлагается использование лавинно-пролетных диодов и применение узкополосного составного фильтра фона (интерференционный фильтр и интерферометр Фабри-Перо). Для повышения термомеханической стабильности всей конструкции предлагается расположение элементов передатчика и приемника по обе стороны оптической скамьи УОР-лидара.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-42-700072).

ЛИДАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ТРОПОСФЕРЫ НАД ОЗЕРОМ БАЙКАЛ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

С.В. Насонов, Ю.С. Балин, М.Г. Клемашева, Г.П. Коханенко, М.М. Новоселов, И.Э. Пеннер

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, России
nsvtsk@gmail.com*

Аэрозоль является одним из наиболее важных составляющих атмосферы, играя значимую роль в изменении ее оптического состояния, что в свою очередь оказывает влияние на радиационный баланс и, соответственно, на климат Земли. Поэтому исследования вертикального распределения аэрозольных полей и их трансформации в зависимости от термодинамических характеристик атмосферы имеют большое значение. Влияние на формирование аэрозоля оказывают региональные факторы – рельеф местности, растительный покров и т.д. В этой связи, особенно важно проводить такие исследования в разных географических регионах, для определения его высотного и пространственного распределения и выявления закономерностей. В работе представлены результаты проведенных экспериментальных исследований атмосферы в летний период 2015–2016 гг., в прибрежной зоне южной части оз. Байкал, в районе п. Боярск. Измерения проводились с использованием аэрозольно-рамановского лидара «ЛЮЗА-М2».

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА «LIRIC» ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ПО ДАННЫМ ЛИДАРНОГО СКР-ЗОНДИРОВАНИЯ

И.Э. Пеннер¹, Ю.С. Балли¹, С.В. Самойлова¹, Г.П. Коханенко¹, А.П. Чайковский², С.В. Денисов²

¹*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия, penner@iao.ru*

²*Институт физики НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, chaikov@dragon.bas-net.by*

В последнее десятилетие лидарное зондирование молекулярных примесей атмосферы, основанное на регистрации сигналов спонтанного комбинационного рассеяния (СКР), стало широко применяемым методом исследования атмосферы. В докладе представлено тестирование алгоритма обработки данных СКР-зондирования и реализующего его программного пакета «LIRIC» [1], основанного на применении методов статистической регуляризации к решению некорректной задачи с многокомпонентной структурой входных данных. Программный пакет предназначен для обработки данных комплексного лидарного и радиометрического зондирования атмосферного аэрозоля на станциях лидарных сетей EARLINET и CIS-LiNet. Разработка алгоритма и программного пакета проведена в Институте физики НАН Беларуси. Тестирование программного обеспечения выполнены научными группами Института физики НАН Беларуси и Института оптики атмосферы СО РАН по данным комплексного аэрозольного эксперимента в июне 2015 г. в Томске.

1. *Chaikovsky A., Dubovik O., Holben B., Brill A., Goloub P. et al. Lidar-Radiometer Inversion Code (LIRIC) for the retrieval of vertical aerosol properties from combined lidar/radiometer data: Development and distribution in EARLINET // Atmos. Meas. Tech. Discuss. 2015. V. 8. P. 12759–12822.*

КРУГЛЫЙ СТОЛ «НЕСЕЛЕКТИВНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ МОЛЕКУЛ И КОМПЛЕКСОВ В АТМОСФЕРЕ И ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛАХ»

(в честь 80-й годовщины со дня рождения
чл.-корр. РАН С.Д. Творогова)

ОЦЕНКА ОБЩЕГО ЧИСЛА ВСЕХ ТЕОРЕТИЧЕСКИ ВОЗМОЖНЫХ ЛИНИЙ ВОДЯНОГО ПАРА

Б.А. Воронин

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, vba@iao.ru

Делается попытка оценить число всех теоретически возможных линий основной изотопической модификации водяного пара H_2^{16}O . Были определены следующие ограничения и допущения: 1) только для основного электронного состояния; 2) только для переходов с интенсивностью не слабее $1 \cdot 10^{-100}$ см/молек.; 3) мы предполагаем, что рост числа линий по порядку интенсивности идет линейно, так же, как это демонстрируют относительно сильные линии согласно вариационным расчетам с интенсивностями $\sim 10^{-19} - 10^{-35}$ см/молек. Подобный анализ проводится и для HD^{16}O .

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ СЛАБОГО НЕСЕЛЕКТИВНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ИК-ДИАПАЗОНЕ

А.М. Солодов, А.А. Солодов, Т.М. Петрова, Ю.Н. Пономарев, И.В. Пгашник

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, uiron@iao.ru

Проблема учета слабого неселективного (континуального) поглощения ИК-излучения в атмосфере молекулами и комплексами H_2O актуальна для уточнения радиационного блока климатических моделей.

Для получения количественных данных о величине континуального поглощения и ее зависимости от давления, температуры и влажности атмосферы в ИОА СО РАН и ряде зарубежных лабораторий используются лазерные методы и метод Фурье-спектроскопии с длиннобазовыми многоходовыми кюветами, обеспечивающими длину оптической трассы до 1000 м. Даже для таких трасс при измерениях слабого неселективного поглощения отношение сигнал-шум невелико и на результаты измерений влияет целый ряд инструментальных факторов.

В докладе обсуждаются основные источники инструментальных и методических погрешностей различных методов измерения континуального поглощения, связанного с водяным паром, приведены оценки совокупности этих погрешностей, обсуждаются вопросы их оптимизации.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ СРЕДЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

Л.Н. Сеница^{1,2}, В.И. Сердюков¹, А.А. Луговской¹

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
laa@iao.ru*

Исследовалось влияние водяного пара H_2^{16}O и его изотопов H_2^{18}O и D_2^{16}O на коэффициент отражения (K) многослойных диэлектрических зеркал, расположенных в многоходовой газовой кювете. Обнаружено сильное

изменение K зеркал (до 5%) при напуске в кювету водяного пара до 23 мбар, что объясняется неравномерным изменением показателя преломления слоев многослойных покрытий при проникновении водяного пара внутрь пористой структуры покрытий.

По оценкам, изменение K многослойного диэлектрического зеркала может внести большую ошибку в измерения, проводимые с помощью высокочувствительных спектроскопических методов, применяющих высокодобротные резонаторы с зеркалами $K > 0,999$, таких как CRDS [1] и CEAS [2], особенно при измерениях широкополосного поглощения. В частности, неконтролируемое изменение коэффициента отражения зеркал может привести к значительным погрешностям в измерении константы затухания, которая измеряется в методе CRDS. Причем ошибка будет тем больше, чем больше изменение K зеркал.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-02-00802), Программы РАН 3.9.

1. Romanini D., Kachanov A.A., Sadeghi N., Stoekel F. // Chem. Phys. Lett. 1997. V. 264. P. 316.
2. Engeln R., Berden G., Peeters R., Meijer G. // Rev. Sci. Instrum. 1998. V. 69. P. 3763.

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛЕКУЛ ВОДЯНОГО ПАРА В НАНОПОРАХ АЭРОГЕЛЯ

Р.Т. Насибуллин, В.Н. Черепанов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

Детальное понимание характера закономерностей взаимодействия молекул с их адсорбированным слоем на стенках нанопор аэрогеля позволяет установить связь появляющихся при этом структурных молекулярных образований на поверхности со спектральными свойствами (уширение, сдвиг спектральных линий) молекул в газовой фазе, находящихся в нанопорах. Предложена модель взаимодействия молекул с их адсорбированным слоем на стенках нанопор аэрогеля. Обсуждаются структуры адсорбированного слоя молекул на поверхности нанопор аэрогеля. Показано, что рассчитанная энергия связи молекул воды с кремниевой поверхностью превышает значение энергии связи димера воды и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы пара воды при комнатной температуре, что приводит к образованию водяного монослоя на поверхности аэрогеля. Квантово-химическими методами (*ab initio*, методы функционала плотности) рассчитана усредненная потенциальная энергия взаимодействия налетающей свободно ориентированной молекулы на монослой этих же адсорбированных молекул на стенках нанопор.

ВКЛАД КОНТИНУАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ДЛИННОВОЛНОВЫЕ ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Т.Ю. Чеснокова¹, К.М. Фирсов², А.В. Ченцов¹, И.И. Клиточенко²

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, ches@iao.ru

²Волгоградский государственный университет, Россия, fkm@volsu.ru

Проведено моделирование восходящих и нисходящих длинноволновых ИК-потоков с учетом поглощения перистыми облаками, расположенными на высотах от 6 до 11 км при различной влажности. Для расчета молекулярного поглощения использовался метод рядов экспонент с разбиением спектрального диапазона 0–3000 см⁻¹ на подинтервалы шириной 20 см⁻¹. Для аппроксимации функций пропускания для каждого подинтервала были заранее рассчитаны методом *line-by-line* эффективные коэффициенты поглощения для газов H₂O, CO₂, O₃, CH₄, N₂O. Континуальное поглощение паров воды основывалось на модели MT_CKD [http://rtweb.aer.com/continuum_frame.html] и модели, полученной нами на основе экспериментальных данных [1]. Сделано сравнение восходящих и нисходящих длинноволновых ИК-потоков, а также радиационного форсинга облаков при использовании различных моделей континуума.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. (проект П.10.3.8), а также частично поддержана грантом РФФИ № 16-45-340152 p_a.

1. Baranov Yu.I., Lafferty W.J. The water vapour self- and water-nitrogen continuum absorption in the 1000 and 2500 cm⁻¹ atmospheric windows // Phil. Trans. R. Soc. A. 2012. V. 370. P. 2578–2589.

ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ CO И CO₂ В НАНОПОРАХ SiO₂/Al₂O₃ КСЕРОГЕЛЯ

Т.М. Петрова, Ю.Н. Пономарев, А.А. Солодов, А.М. Солодов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

asolodov@iao.ru

С помощью Фурье-спектрометра Bruker IFS 125 HR в диапазоне 2000–2400 см⁻¹ зарегистрированы спектры поглощения молекул CO и CO₂, находящихся в нанопорах гибридного SiO₂/Al₂O₃ ксерогеля. Определены значения полуширин спектральных линий, проанализирована их зависимость от вращательных квантовых чисел, проведено сопоставление полученных результатов с данными, имеющимися в литературе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 14.578.21.0042, идентификатор проекта RFMEFI57814X0042).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА, НАХОДЯЩЕГОСЯ В ОБЪЕМЕ НАНОПОР АЭРОГЕЛЯ

Т.М. Петрова¹, Ю.Н. Пономарев^{1,2}, А.А. Солодов^{1,2}, А.М. Солодов¹, В.И. Стариков^{3,4}

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

³*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия*

⁴*Юргинский технологический институт, Россия*

asolodov@iao.ru

В диапазоне 5000–5600 см⁻¹ при комнатной температуре с помощью Фурье-спектрометра IFS 125 HR были зарегистрированы спектры поглощения водяного пара, находящегося внутри нанопор аэрогеля из диоксида кремния. Определены значения полуширин спектральных линий и сдвиг их центров относительно свободного газа. Проведен расчет полуширин и сдвигов с помощью полуэмпирической модели, учитывающей ограничение свободы вращения адсорбированных молекул, с которыми происходят столкновения молекул газовой фазы.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых-кандидатов наук МК-7801.2015.2.

КОНТИНУАЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В ОКНАХ ПРОЗРАЧНОСТИ ИЗ РАЗНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ РАСХОЖДЕНИЙ

И.В. Пташник, Ю.Н. Пономарев

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

piv@iao.ru

Между полосами поглощения водяного пара, в так называемых «окнах прозрачности» атмосферы, основную роль в поглощении излучения в атмосфере играет слабоселективное (континуальное) поглощение водяного пара (или «континуум»). Именно в окнах прозрачности континуум водяного пара оказывает наибольшее влияние на радиационный баланс Земли и на количество осадков. Континуальное поглощение в окнах прозрачности важно также в задачах дистанционного оптического мониторинга аэрозольного состава атмосферы и свойств поверхности Земли и облаков. Однако, ввиду того, что континуальное поглощение в окнах прозрачности очень слабо, измерение его величины представляет сложную техническую задачу. Так, например, измерения континуума водяного пара в окнах прозрачности 1,6 и 2,1 мкм, при комнатных температурах, выполнение в последние годы разными научными группами, с использованием разных спектроскопических методов (интерференционная калориметрия, Фурье-спектроскопия и спектроскопия внутривибрационного затухания), дали совершенно разные результаты [1, 2]. Различия достигают порядка величины, и могут быть обусловлены как несовершенством отдельных методик, так и разными побочными эффектами при использовании разных техник измерения. В докладе обсуждаются возможные причины этих расхождений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-17-10096.

1. Пташник И.В. Континуальное поглощение водяного пара: краткая предыстория и современное состояние проблемы // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 5. С. 443–459.
2. Shine K.P., Campargue A., Mondelain D., McPheat R.A., Ptashnik I.V., Weidmann D. The water vapour continuum in near-infrared windows – Current understanding and prospects for its inclusion in spectroscopic databases // J. Mol. Spectrosc. 2016. V. 327. P. 193–208.

КРУГЛЫЙ СТОЛ ПО ПРОБЛЕМЕ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ В АТМОСФЕРЕ

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПО ДРОЖАНИЮ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОГО НЕКОГЕРЕНТНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

О.Н. Емалеев, Н.Н. Ботыгина, В.П. Лукин, В.В. Носов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lukin@iao.ru*

Рассматривается ситуация, когда для обеспечения работы датчика волнового фронта адаптивной системы в качестве опорного источника используется изображение самого объекта, который является самосветящимся, или подсвечивается излучением какого-либо дополнительного источника. В итоге предлагается схема работы адаптивной оптической системы, не требующая специального создания или формирования опорного источника. Анализ некоторых публикаций, показывает, что в ряде практических случаев нельзя пренебрегать влиянием конечности размера некогерентного источника, так как это может привести к значительным ошибкам по оценке уровня турбулентности на вертикальной трассе при использовании неточечных источников излучения. В работах [1, 2] впервые были сформулированы условия эффективной адаптивной коррекции при использовании в качестве опорного изображения протяженного некогерентно освещенного объекта. Используя выражение для распределения мгновенной интенсивности оптического поля, формируемого протяженным некогерентным источником рассчитана величина корреляции дрожания изображения при произвольном соотношении размеров опорного источника и апертуры приемника. Экспериментальные измерения на атмосферной трассе проводились в условиях городской атмосферной турбулентности на горизонтальной трассе протяженностью 103,9 м на высоте 10 м над подстилающей поверхностью.

1. Лукин В.П., Чарноцкий М.И. Квантовая электроника. 1982. Т. 9, № 5. С. 952–958.
2. Lukin V.P. // J. Opt. 2013. April. P. 1–4.

ДЕФОРМИРУЕМЫЕ ЗЕРКАЛА С ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИМИ АКТЮАТОРАМИ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ АДАПТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Ю. Киселев, Е.А. Берченко, А.С. Филатов

*Институт лазерной и оптической технологии, г. Москва, Россия
kiselev-ilotech@yandex.ru*

Приведены результаты создания в ООО «Институт лазерной и оптической технологии» деформируемых зеркал различного типа на базе пьезокерамических актюаторов как ключевых элементов силовых и информационных лазерных АОС.

Представлены конструкции кремниевых деформируемых неохлаждаемых и охлаждаемых зеркал на базе биморфных актюаторов и столбчатых актюаторов толкательного типа. Описаны конструкции зеркал, сочетающие в себе, в том числе, функции собственно деформируемого зеркала и зеркала с управляемым наклоном. Приведены технические характеристики этих зеркал.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ РАДИУСА ФОКАЛЬНОГО ПЯТНА

Д.А. Ягнятинский, Д.М. Ляхов, А.Н. Боршевников, В.Н. Федосеев

*«НИИ НПО «ЛУЧ», г. Подольск, Россия
day@luch.podolsk.ru*

Начиная с 70-х гг. XX в. активно разрабатываются алгоритмы управления адаптивными оптическими системами, использующие информацию о распределении интенсивности сфокусированного излучения в фокальном пятне. Главными критериями, которым должен удовлетворять такой алгоритм являются скорость работы и относительная простота реализации. Предлагаемый алгоритм сочетает в себе перечисленные свойства и не содержит в себе распространенных численных подходов к решению задач метода апертурного зондирования, таких как: градиентный, симплекс, стохастический.

Алгоритм использует выявленную и проверенную с помощью моделирования аналитическую зависимость между радиусом фокального пятна и коэффициентами при компонентах волнового фронта, создающего это пятно. Расчетно-экспериментальным путем показано, что алгоритм может быть использован для компенсации aberrаций второго порядка. В дальнейшем, его можно развить для коррекции волнового фронта, содержащего компоненты более высоких порядков.

Оценена погрешность работы алгоритма с учетом ошибки аппроксимации компонент волнового фронта функциями влияния приводов деформируемого зеркала. Показана независимость работы алгоритма от наличия постоянной неяркой засветки области фокального пятна.

1. Ягнятинский Д.А., Ляхов Д.М., Боршевников А.Н., Федосеев В.Н. Новый алгоритм управления адаптивной оптической системой по методу минимизации радиуса фокального пятна // Сб. трудов ФГУП «НИИ НПО ЛУЧ». 2006–2016 гг. С. 590–599.

РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ФАЗОВОЙ КОРРЕКЦИИ РЕГУЛЯРНЫХ, ВИХРЕВЫХ И НЕКОГЕРЕНТНЫХ МНОГОМОДОВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ БЕЗ ДАТЧИКА ВОЛНОВОГО ФРОНТА

В.А. Богачев¹, С.Г. Гаранин^{1,2}, Ф.А. Стариков^{1,3}, Р.А. Шнягин¹

¹*Российский федеральный ядерный центр –*

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, г. Саров, Россия

²*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Москва, Россия*

³*Саровский физико-технический институт*

Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Россия

fstar@mail.ru

Проведено расчетное исследование фазовой коррекции регулярных и вихревых (спеклованных) лазерных пучков гибким адаптивным зеркалом, управление поверхностью которого осуществляется с помощью стохастического параллельного градиентного (СПГ) алгоритма, без использования датчика волнового фронта. Показано, что оптимальной целевой функцией СПГ алгоритма, обеспечивающей максимальную остроту фокусировки излучения, является доля мощности в угле, близком к дифракционному. В случае спекл-пучка результат СПГ коррекции заметно лучше, чем при использовании ДВФ Шака–Гартмана. Изменение целевой функции в итеративном процессе коррекции, а также должный выбор базисных функций позволяет повысить точность коррекции и скорость сходимости СПГ алгоритма.

Продемонстрирована возможность фазовой СПГ коррекции некогерентного многомодового пучка излучения, которую можно реализовать, например, в лазерном резонаторе с нестационарной оптически-неоднородной активной средой. Такая коррекция является в принципе частичной, однако позволяет путем трансформации модового состава существенно увеличить узконаправленную компоненту пучка.

ДВУХКООРДИНАТНЫЙ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ ОПТИЧЕСКИЙ ДЕФЛЕКТОР

Л.В. Антошкин, Н.Н. Ботыгина, А.Г. Борзилов, О.Н. Емалеев, П.А. Коняев

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lant@iao.ru*

Для повышения качества изображения на Большом солнечном вакуумном телескопе ИСЗФ СО РАН нами разработан блок адаптивной оптической системы (АОС), корректирующий дрожание изображения изучаемого участка солнечного диска, вызванное атмосферной турбулентностью и вибрациями конструкций телескопа. Устройство представляет собой следящую систему со скоростной видеокамерой и управляемым по углам оптическим дефлектором, предназначенным для стабилизации фрагмента изображения на входной апертуре оптической системы.

Дефлектор содержит электронный блок управления и исполнительное устройство, созданное на основе пьезокерамических элементов и плоского зеркала. Он обеспечивает основные требования, предъявляемые к АОС: апертура не менее 100 мм, динамический и частотный диапазон. Особые конструктивные решения исполнительного устройства обеспечивают сохранение плоскостности зеркала при различных углах коррекции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 15-19-20013.

МЕСТНАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ ТОЧКИ СТОЯНИЯ БСВТ

Л.А. Больбасова, П.Г. Ковадло, Е.А. Копылов, В.П. Лукин, А.Ю. Шиховцев

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Была решена задача построения местной модели турбулентности атмосферы, включающей в себя модель вертикальной эволюции структурной постоянной показателя преломления, частотную модель величины интегральной толщи интенсивности турбулентности и вертикального профиля скорости ветра для точки стояния Большого вакуумного солнечного телескопа (БСВТ).

Для численного моделирования конкретных адаптивных оптических систем коррекции изображений представляют интерес особенности формирования искажений волнового фронта в отдельных «оптически активных слоях» атмосферы. Концепция включает также в себя вопросы, связанные с расширением поля зрения инструмента, в котором осуществляется эффективная коррекция волнового фронта при минимальном уровне остаточных искажений.

Для расчета профиля использовались данные, как прямых наблюдений, так и, взятые из архива реанализа NCAR. Анализ профилей для утренних и дневных условий показывает, что в месте расположения БСВТ значительный вклад вносит турбулентность пограничного слоя атмосферы. Выше пограничного слоя турбулентность с высотой уменьшается. Однако на высоте около 12 км формируется атмосферный слой с повышенной турбулентностью.

Мы предлагаем также модель вертикального профиля скорости ветра, в предположении, что скорость ветра представляет собой постоянную составляющую, характерную для нижних слоев атмосферы, плюс случайную составляющую с гауссовым распределением. В таком виде данная модель представляет собой некое обобщение широко известной модели для скорости ветра Бафтона.

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В АТМОСФЕРНОЙ АДАПТИВНОЙ ОПТИКЕ

П.А. Коняев

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
peter@iao.ru*

Формирование изображения через турбулентную атмосферу сопровождается такими искажениями, как случайное смещение всего изображения, вызванное крупномасштабными неоднородностями показателя преломления; дрожание и деформация фрагментов кадра, а также размытие деталей изображения, вызванное мелкомасштабными неоднородностями. Адаптивная оптика, в принципе, позволяет устранить часть этих искажений, но ее применение в ряде случаев, например, при формировании изображений высокого разрешения

на горизонтальных приземных трассах, является проблематичным. В настоящей работе рассматривается использование в этих случаях постдетекторной компьютерной обработки цифровых изображений, получаемых с помощью цифровых высокоскоростных видеокамер с экспозицией короткой длительности.

Рассматриваются алгоритмы стабилизации дрожания кадров и их фрагментов в условиях низкого контраста, методы композиции неискаженного изображения по серии зафиксированных искаженных изображений, а также алгоритмы цифровой фильтрации кадра на заключительной стадии синтеза. Проведено компьютерное моделирование искажений в оптической системе с ОПФ турбулентной атмосферы на примере изображений радиальной и кольцевой миры. Для проверки разработанных алгоритмов коррекции искажений в турбулентной атмосфере, проведены натурные эксперименты на горизонтальных приземных трассах полигона БЭК ИОА СО РАН протяженностью от 400 до 4000 м в условиях слабой и умеренной турбулентности. На основе анализа экспериментальных данных обсуждаются области применимости и приведены оценки эффективности разработанной методики цифровой обработки изображений в задачах адаптивной оптики атмосферы.

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СКАЛЯРНЫХ КОГЕРЕНТНЫХ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

В.А. Сенников

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
wsen@iao.ru

В последние годы активно исследуется теоретически и в вычислительном эксперименте распространение световых вихревых пучков, обладающих орбитальным угловым моментом (ОАМ), в условиях оптической турбулентности. Было показано, что влияние даже слабой атмосферной турбулентности затрудняет работу оптических систем связи на основе ОАМ.

Нами проводилось компьютерное моделирование распространения световых когерентных вихревых LG_{0L} -пучков в случайно-неоднородной среде со степенным спектром, характерным для атмосферной турбулентности. Задача решалась с применением динамического алгоритма эволюции среды во времени, основанной на модели авторегрессии – скользящего среднего. Это позволяет проводить оценку не только традиционных для метода статистических испытаний характеристик пучков, но также изучать поведение временных спектров флуктуаций интенсивности и фазы.

Проведено сравнение распространения вихревых и кольцевых LG_{0L} -пучков, имеющих в исходной плоскости одинаковое распределение интенсивности, в условиях атмосферной турбулентности.

Также проведено численное моделирование распространения вихревого гипергеометрического пучка, полученного в результате дифракции гауссова пучка на спиральной фазовой пластинке, в случайно-неоднородной среде. Проведено сравнение распространения вихревого гипергеометрического и вихревых пучков LG_{0L} .

СИСТЕМА КОГЕРЕНТНОГО СЛОЖЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МАТРИЦЫ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ. ФОРМИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ

В.П. Аксенов¹, В.В. Дудоров¹, В.В. Колосов^{1,2}, М.Е. Левицкий³,
А.П. Ростов¹, Г.В. Симонова⁴, Г.А. Филимонов¹

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Томский научный центр СО РАН, Россия*

³*ЗАО Научно-производственное предприятие «Топаз», г. Томск, Россия*

⁴*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*
avp@iao.ru

Исследованы возможности системы синтезирования оптических полей при когерентном и частично когерентном сложении излучения матрицы оптоволоконных лазеров, в том числе с возможностью формирования оптических вихрей. Представлены результаты экспериментальных исследований лабораторного макета системы формирования лазерных пучков с управляемыми пространственными характеристиками, в том числе кольцевых пучков с ненулевым орбитальным угловым моментом. Показано, что управление фазой на субапертурах, а также управление размером субапертур позволяет формировать заданную степень пространственной когерентности синтезированного пучка. Продемонстрирована возможность управления орбитальным угловым

моментом синтезированного пучка на основе когерентного сложения излучения и соответствующего сдвига фазы на субапертурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке прикладных научных исследований Министерством образования и науки России (Соглашение № 14.613.21.0035 от 5 ноября 2015 г.).

КОРРЕКЦИЯ АБЕРРАЦИЙ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ФАЗОВОГО СОПРЯЖЕНИЯ

И.В. Галактионов¹, А.В. Кудряшов^{1,2}, Ю.В. Шелдакова¹, А.А. Бялко¹

¹ООО «Институт адаптивной оптики», г. Москва, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
galaktionov@activeoptics.ru

Проведено исследование распространения коллимированного лазерного пучка сквозь стеклянную кювету с суспензией полистироловых микросфер в дистиллированной воде методом Монте-Карло [1]. Реализована программная модель датчика Шака–Гартмана для определения смещений фокальных пятен пучка, прошедшего сквозь рассеивающую среду. Проведено численное и экспериментальное исследование aberrаций волнового фронта рассеянного излучения, показано наличие симметричных aberrаций, в частности сферической aberrации низшего и высшего порядка. Численные оценки показали, что использование замкнутой адаптивной оптической системы, работающей по методу фазового сопряжения, с биморфным адаптивным зеркалом [2] с 32 электродами позволяет эффективно скомпенсировать измеренные aberrации – например, для концентрации рассеивателей $3,5 \cdot 10^5 \text{ мм}^{-3}$ амплитуду aberrаций удалось уменьшить с $1,97\lambda$ до $0,23\lambda$, при этом фактор Штреля увеличился с 0,02 до 0,96 [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-07-01276 а).

1. Wang L., Jacques S. MCML – Monte Carlo modeling of light transport in multi-layered tissues // Computer programs and methods in biomedicine. 1995. V. 47. P. 131.
2. Samarkin V., Kudryashov A. Deformable mirrors for laser beam shaping // Proc. SPIE. 2010. 7789, 77890B.
3. Galaktionov I., Sheldakova J., Kudryashov A., Byalko A., Kalenkov G. Measurement and correction of the wavefront of laser beam propagated through scattering medium // Proc. of 17th Int. Conf. «Laser Optics 2016». 2016. P. 57 (ThR4-p07).

ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО И ОДНОРОДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИМОРФНОГО ЗЕРКАЛА

А.В. Кудряшов^{1,2}, Ю.В. Шелдакова¹, А.Н. Лылова¹, В.В. Самаркин¹,
А.Л. Рукосуев¹

¹ООО «Институт адаптивной оптики», г. Москва, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lylova@activeoptics.ru

Проведено исследование способов моделирования кольцевого и однородного распределения интенсивности в дальней зоне при помощи биморфного деформируемого зеркала [1]. Предложен быстрый метод формирования заданного распределения интенсивности с использованием датчика Шака–Гартмана [2]. Представлена адаптивная оптическая система для изменения формы фокального пятна, основными элементами которой явились: деформируемое зеркало и два датчика волнового фронта, один из которых предназначался для измерения фазы излучения (Шак-гартмановского типа), второй – для анализа распределения интенсивности в дальней зоне (представлял собой цифровую видеокамеру). Результатом исследований стало получение засветки в форме кольца и однородного круга в фокальной плоскости линзы.

Численные оценки показали, что при использовании 48-электродного деформируемого биморфного зеркала (с активной апертурой – 50 мм) [3], точность восстановления кольцевого распределения интенсивности, так же, как и распределения интенсивности в форме однородного круга, составила $0,04\mu$ (оценивалась среднеквадратическая ошибка по апертуре).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-07-01097 а).

1. Akahane Y., Ma J., Fukuda Y., Aoyama M., Kiriyama H., Yamakawa K., Sheldakova J.V., Kudryashov A.V. // Review of Scientific Instruments. 2006. V. 77, N 2. P. 023102-1–023102-7.
2. Kudryashov A.V., Samarkin V.V., Sheldakova Y.V., Aleksandrov A.G. // Optoelectronics, Instrumentation, and Data Processing. 2012. V. 48, N 2. P. 153–158.
3. Samarkin V., Alexandrov A., Borsoni G., Jitsuno T., Romanov P., Rukosuev A., Kudryashov A. // High Power Laser Science and Engineering. 2016. V. 4. P. e4.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИСКАЖЕННЫХ ТУРБУЛЕНТНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ ИЗОБРАЖЕНИЙ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОАПЕРТУРНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

В.В. Дудоров, А.С. Еремина

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
an.s.eremina@gmail.com*

На основе численного моделирования исследованы возможности повышения эффективности работы оптических систем наблюдения на основе использования синтезированных приемных апертур (многоапертурных систем). Проанализированы особенности формирования синтезированного изображения, являющегося суммой (наложением) изображений, полученных на каждой отдельной субапертуре, при наличии турбулентных искажений. Представлены результаты анализа качества изображений, синтезированных матрицей $N \times N$ субапертур ($N = 2-6$). Показано, что при использовании большого числа субапертур ($N > 3$) турбулентные искажения в синтезированном изображении, полученном с учетом компенсации смещений изображений на каждой отдельной субапертуре, являются изопланатичными в широком диапазоне атмосферных условий, что позволяет существенно увеличить качество изображения методами компьютерной (постдетекторной) коррекции. Представлено сравнение результатов коррекции синтезированных изображений с изображениями без коррекции и традиционными изображениями, сформированными одной апертурой.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-8199.2016.5.

ФАЗОВОЕ И АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Ф.Ю. Канев¹, В.П. Лукин¹, О.Л. Антипов², Н.А. Макенова¹

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

²*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия
mna@iao.ru*

Проводится анализ эффективности компенсации атмосферных искажений многоканального лазерного излучения на основе методов адаптивной оптики. В результате численного моделирования распространения пучков показано, что качество коррекции тонкого турбулентного слоя зависит от числа каналов оптической системы и базиса координат управления. В условиях сильных турбулентных искажений увеличение числа каналов от 13 до 90 без увеличения энергетического радиуса пучка обеспечивает увеличение плотности мощности в плоскости наблюдения почти в два раза. В то же время, полная компенсация распределенного турбулентного слоя не может быть достигнута в результате чисто фазового управления даже при большом числе каналов (130 каналов) оптической системы. В этом случае увеличение эффективности управления достигается при регулировке усиления каждого из пучков, формирующих выходное излучение, т.е. при переходе к амплитудно-фазовому управлению.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И АДАПТИВНО-ОПТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА ИЗОЛИРОВАННОЙ ОТ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРНОЙ ТРАССЕ

В.Ю. Венедиктов^{1,2}, Д.В. Венедиктов², А.В. Горелая¹, А.Д. Дмитриева¹, Д.И. Дмитриев³, А.В. Кудряшов⁴,
И.Л. Ловчий³, А.Д. Цветков³, Е.В. Шалымов¹, Ю.В. Шелдакова⁴, Е.В. Шубенкова¹

¹СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

³НИИКИ ОЭП, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

⁴ООО «Активная Оптика НайтН», г. Москва, Россия

vlad_venediktov@yahoo.com

Уникальная искусственная атмосферная трасса (ИАТ) существует базе ООО «Научно-исследовательского института оптико-электронного приборостроения» (Ленинградская область, г. Сосновый Бор), она обладает возможностью создания искусственных управляемых возмущений воздушного потока. Этот опытный стенд был разработан для исследования распространения высокоомощного лазерного излучения [1], изучения нелинейных оптических явлений в лазерном пучке и повышения направленности, мощности излучения лазеров путем обращения волнового фронта. Для исследования характеристик адаптивных оптических систем ранее применялось математическое моделирование и открытые атмосферные трассы [2], ИАТ была применена для этих целей впервые. В настоящей работе представлены экспериментальные результаты коррекции начального волнового фронта лазерного пучка адаптивной оптической системой с быстродействием 25 Гц. В результате исследований получены характеристики СКО волнового фронта лазерных пучков с длиной волны излучения $\lambda = 0,53$ и 1,06 мкм, распространяющихся в искажающей среде. Реализованная схема позволяет проводить исследования на двух длинах волн одновременно при включении различных длин искусственной атмосферной трассы. По результатам исследования параметров излучения была выявлена качественная зависимость уровня турбулентности от времени релаксации трассы.

1. *Sirazetdinov V.S.* Investigation of laser radiation propagation on extended paths on the LAS stand // *J. Opt. Technol.* 1999. V. 66, N 11. P. 970–973.
2. *Sirazetdinov V.S., Starikov A.D.* Physical modeling of directional transport of laser radiation // *J. Opt. Technol.* 1994. V. 61, N 11. P. 797–800.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ТУРБУЛЕНТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА АСТ И БСВТ

В.М. Григорьев, П.Г. Ковадло, Д.Ю. Колобов, Е.А. Копылов, А.В. Кудряшов,
В.П. Лукин, А.Ю. Шиховцев

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

Рассмотрены основные атмосферные оптические характеристики, используемые при разработке, оптимизации и совершенствовании адаптивных оптических систем. В рамках спектральной модели турбулентности анализируются энергетические спектры атмосферной турбулентности в отдельных пространственных диапазонах, приведены результаты исследований характерных масштабов: радиуса когерентности и внешнего масштаба. Анализируется динамика выделенных атмосферных слоев с высокой интенсивностью турбулентности – оптически сопряженных с корректирующими зеркалами адаптивных мультисистем. Полученные результаты обсуждаются в приложении к создаваемому Крупному солнечному телескопу с диаметром апертуры 3 м в рамках мегапроекта «Национальный гелиогеофизический комплекс РАН».

ФУНКЦИИ ДАТЧИКА ВОЛНОВОГО ФРОНТА ШЭКА–ГАРТМАНА В АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В.В. Лавринов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lvv@iao.ru*

Рассматриваются вопросы эффективности функционирования адаптивной оптической системы использующей в качестве устройства регистрирующего искажения датчик волнового фронта Шэка–Гартмана. Проведен анализ точности реконструкции волнового фронта в зависимости от параметров оптической части датчика, от интенсивности турбулентных искажений, характеристик распределения интенсивности на входной апертуре системы. В ходе работы проведен сравнительный анализ искажений измеряемого и реконструированного волновых фронтов. Приведены результаты статистических исследований по эффективности алгоритма реконструкции волнового фронта использующего ортогональные полиномы Цернике. Так же рассматриваются особенности управление поверхностью корректирующего зеркала в зависимости от представления искажений волнового фронта по измерениям датчика Шэка–Гартмана. Приводятся критерии оценки эффективности алгоритмов вычисления управляющих гибким зеркалом напряжений. Представлены алгоритмы для применения датчика волнового фронта в качестве измерителя структурной характеристики показателя преломления атмосферной турбулентности и скорости поперечного ветрового переноса турбулентных неоднородностей на входной апертуре адаптивной системы. В работе так же рассматривается проблема запаздывания в адаптивной оптической системе, и приводятся возможные варианты ее решения.

Авторский указатель

А		Боровко И.В.	56	Горина Е.Н.	19, 20
Агафонцев М.В.	98	Боровкова О.В.	32	Горчаков Г.И.	24, 35, 57, 75
Акимкин В.Г.	76	Боровой А.Г.	12	Горчакова И.А.	57
Аксенов В.А.	96	Боршевников А.Н.	106	Горячев Б.В.	60
Аксенов В.П.	108	Ботыгина Н.Н.	105, 107	Гочаков А.В.	36
Акулов П.А.	74	Брусова Н.Е.	63	Грибанов К.Г.	48, 49
Акулова О.Б.	21	Буевич А.Г.	26	Григорьев В.М.	112
Алексеев М.А.	78	Букатый В.И.	21, 23	Грицута А.Н.	93
Алипова К.А.	47	Булдырева Ж.В.	51	Гришина А.А.	24, 80
Алтунина Л.К.	72	Булохов А.В.	71	Грудович Л.Е.	39
Аммосов П.П.	61	Бунтов Д.В.	35, 86	Грязин В.И.	34
Аммосова А.М.	61	Буряк Г.А.	19, 20, 76, 83	Губанов Д.А.	95
Андреева И.С.	19, 20	Бялко А.А.	109	Губанова Д.П.	62
Аникин П.П.	4	В		Гущин Р.А.	35, 36, 86
Антипов О.Л.	110	Валиулин С.В.	32	Д	
Антонов К.Л.	26	Васильев М.С.	4	Давыдов Д.К.	21, 27, 31
Антохин П.Н.	24, 27, 36, 80	Васильева А.В.	53	Дайбова Е.Б.	34
Антохина О.Ю.	27	Васильева М.С.	34	Данилкин Е.А.	39
Антошкин Л.В.	107	Венедиктов В.Ю.	111	Даценко О.И.	35, 36, 86
Аршинов М.Ю.	27, 31, 58	Венедиктов Д.В.	111	Дейчули В.М.	50
Аршинова В.Г.	58	Веретенников В.В.	14	Денисов С.В.	101
Афанасьев А.Л.	91, 96, 98	Ветрова Е.В.	27	Денисова Н.Ю.	48
Б		Вечканов В.А.	19, 76	Десятков Б.М.	82
Бабкин И.В.	20	Виноградова А.А.	53, 62, 71	Джола А.В.	16, 32
Баженов О.Е.	25	Волков С.Н.	84	Дмитриев Д.И.	111
Бакланов А.М.	32, 79	Волков Ю.В.	74	Дмитриева А.Д.	111
Баладин С.Ф.	81, 83	Волкова М.А.	38	Днепровская В.П.	29, 30
Балин Ю.С.	7, 100, 101	Воробьева И.Г.	19	Домышева В.М.	18, 22, 29
Банах В.А.	92, 93, 94, 95, 96, 98	Воронин Б.А.	102	Донцов А.А.	77
Баранов Н.А.	76	Воропай Н.Н.	27, 57	Дубинкина Е.С.	39
Барашкова Н.К.	38	Вострецов Н.А.	93	Дубцов С.Н.	31, 36
Барт А.А.	38, 42	Г		Дударенок А.С.	51
Башенхаева Н.В.	72	Гаврильева Г.А.	61	Дудоров В.В.	91, 98, 108, 110
Безуглова Н.Н.	66, 68	Галактионов И.В.	109	Дульцева Г.Г.	31
Белан Б.Д.	12, 26, 27, 31, 88	Галилейский В.П.	87, 89, 90	Дучко А.Н.	34
Белокуров Г.М.	55	Ганьшин Е.В.	75	Дюкарев Е.А.	20
Береснев С.А.	34	Гаранин С.Г.	106	Е	
Берченко Е.А.	105	Гендрина И.Ю.	78	Елизаров А.И.	87, 89, 90
Бизин М.А.	70	Генералов В.М.	83	Емалеев О.Н.	105, 107
Бобриков А.А.	11, 13, 87	Генчень Ван	66	Емельянова Е.К.	20
Богачев В.А.	106	Глаголев М.В.	16, 21	Емиленко А.С.	65, 66
Богданова Ю.В.	50	Гладких В.А.	58, 59	Еремина А.С.	91, 110
Богословский Н.Н.	47	Голобокова Л.П.	7, 17, 73	Ж	
Боев А.Г.	71	Головко В.В.	28	Жамсуева Г.С.	11, 67
Большасова Л.А.	107	Голубева Е.Н.	45, 59	Жуков А.Ф.	93
Бондаренко С.Л.	22	Гордеев Е.В.	93, 94, 96, 97, 98	З	
Борзилов А.Г.	107	Горелая А.В.	111	Задворных И.В.	48
Борков Ю.Г.	52	Горелик А.Г.	75	Зайцев Б.Н.	83

Зайцев Н.Г.	93, 99	Кочнева Л.Б.	34	Маркелов Ю.И.	26
Захаренко В.С.	34	Кошляков П.В.	31	Маркелова А.Н.	74
Захаров В.И.	48, 49	Крайнева М.В.	45	Мелков В.Н.	74
Захарова Е.В.	71	Красненко Н.П.	55	Миллер Е.А.	75
Захватов М.Г.	74	Краснов О.А.	16, 21	Минашкин В.М.	62
Заяханов А.С.	11, 67	Крупчатников В.Н.	56	Митрофанова Е.Ю.	24
Звягинцев А.М.	69	Кудряшов А.В.	109, 111, 112	Михайлов Е.Ф.	14
Здерева М.Я.	79	Кужевская И.В.	38	Моложникова Е.В.	67, 72
Зенкова П.Н.	6, 13	Кузин В.И.	44, 45	Мордвин Е.Ю.	28, 88
Зуев В.В.	22, 23, 56, 61, 87	Кузнецов Г.А.	35, 57, 86	Морозов А.М.	87, 89, 90
Зуев С.В.	55, 75	Кузнецова И.Н.	63, 69, 75	Морозов С.В.	63, 65
Зуева Н.Е.	61	Кузьмин М.К.	85	Морозова В.В.	20
	И	Куйбида Л.В.	31	Мохов И.И.	16, 32
Иванов В.Г.	22	Кудлышева М.В.	32		Н
Иванова Ю.А.	62	Кураков С.А.	87	Надеев А.И.	92, 93
Ильясов Д.В.	16	Курбатов Г.А.	35	Насибуллин Р.Т.	103
Исаков А.А.	4, 57, 65	Курбацкая Л.И.	43	Насонов С.В.	100
Истомин В.Л.	28	Курбацкий А.Ф.	43	Наумова О.В.	83
	К	Кусков В.В.	97	Нахаев М.И.	63
Кабанов Д.М.	3, 6, 8, 10	Кустова Н.В.	11, 12	Небосько Е.Ю.	14
Кадыгров Е.Н.	63, 75	Кустова О.В.	73	Невзорова И.В.	58
Калашникова Д.А.	74			Ненашева Г.И.	24
Калинская Д.В.	10		Л	Нецветасва О.Г.	72
Камардин А.П.	55, 58	Лаврентьева Н.Н.	51	Николашкин С.В.	4
Канев Ф.Ю.	110	Лавринов В.В.	112	Никонов А.М.	83
Карпов А.В.	24, 35, 36, 57	Лагутин А.А.	28, 88	Новоселов М.М.	100
Карташова Е.С.	55	Лаптева Н.А.	44, 45, 82	Носов В.В.	43, 105
Касымов Д.П.	98	Лапченко В.А.	69	Носов Е.В.	43
Кижнер Л.И.	38, 42	Ларионов Е.И.	77	Носова В.В.	72
Киселев В.Ю.	105	Латушкин А.А.	10		О
Киселев Н.П.	95	Левицкий М.Е.	108	Обвинцев Ю.И.	62
Клемашева М.Г.	100	Леженин А.А.	44	Оболкин В.А.	17, 73
Климешина Т.Е.	49	Лезина Е.А.	24	Огородников В.А.	42
Клиточенко И.И.	78, 103	Лещев А.В.	71	Огородников В.А.	42
Князев А.К.	75	Лисицин А.П.	6, 10	Огудов А.С.	64
Кобзева Т.В.	31	Лисютенко А.С.	77	Одинцов С.Л.	55, 58, 59
Ковадло П.Г.	107, 112	Литвих М.Е.	21, 23	Олькин С.Е.	19
Козлов А.С.	31	Лобода Е.Л.	98	Орлов С.С.	41
Козлов В.С.	6, 7, 8, 9, 10, 82	Ловчий И.Л.	111	Осипов К.Ю.	32
Козловцева Е.А.	57	Ломакина Н.Я.	54	Охлопкова О.А.	19
Кокарев Д.В.	87, 89, 90	Лоскутова О.В.	57, 65		П
Коковкин В.В.	63, 65	Луговой А.А.	32, 34, 102	Павлинский А.В.	22, 23, 56
Колкер А.Б.	36	Лужецкая А.П.	70	Павлов А.Н.	11, 87
Колобов Д.Ю.	112	Лукин В.П.	43, 105, 107, 110, 112	Павлов В.Е.	41
Колосов В.В.	108	Лукин И.П.	80, 91	Панкратова Н.В.	15, 57
Колотков Г.А.	69	Лылова А.Н.	109	Панченко Е.М.	54
Колтовской И.И.	61	Ляпина Е.Е.	27, 68	Панченко М.В.	6, 7, 8, 9, 13, 18, 22, 29, 82
Коношонкин А.В.	11, 12	Ляхов Д.М.	106	Пашнев В.В.	41
Константинов О.Г.	87		М	Пененко А.В.	24, 80
Коняев П.А.	107	Макаров В.И.	19, 36, 70	Пененко В.В.	53
Копейкин В.М.	35, 57, 65, 66	Макенова Н.А.	110	Пеннер И.Э.	7, 100, 101
Копылов Е.А.	107, 112	Максютов Ш.Ш.	16, 21	Перемитина Т.О.	29
Коробов В.Б.	71	Макухин В.Л.	73	Перминов В.А.	40
Короткова Е.М.	23	Малахова В.В.	45, 47	Пестунов Д.А.	18, 22, 29
Косторная А.А.	74	Мальгина Н.С.	24	Петров А.К.	31
Коханенко Г.П.	7, 100, 101	Маракасов Д.А.	95, 96, 98	Петров Г.А.	76
		Марицайте И.И.	72, 73	Петров И.В.	84

Петрова Т.М.	50, 102, 104	Семутникова Е.Г.	24, 57	Ф	
Платов Г.А.	44, 45	Сенников В.А.	108	Фалиц А.В.	94, 95, 96
Плахина И.Н.	15	Сердюков В.И.	102	Федосеев В.Н.	106
Плохотниченко М.Е.	31, 36	Серегин А.О.	35	Филатов А.С.	105
Поддубный В.А.	26, 39, 70	Сивонен В.В.	71	Филимонов Г.А.	108
Политова Н.В.	10	Сивонен В.П.	71	Фильков А.И.	98
Полькин В.В.	3, 8, 9, 10, 17	Симоненков Д.В.	12, 26, 36, 88	Фирсов К.М.	43, 60, 103
Полькин Вас.В.	8, 9, 10	Симонова Г.В.	74, 108	Фольц В.А.	76
Пономарев Ю.Н.	102, 104	Синельников А.А.	87	Фомин Б.И.	83
Пономарева Т.Я.	57, 65	Синица Л.Н.	102	Фофанов А.В.	21, 27, 88
Попова С.А.	19, 36, 70	Ситнов С.А.	16, 32, 57	Фроленков И.М.	21
Потемкин В.Л.	17, 73	Скворцов С.С.	42	Фроленков О.М.	21
Пташник И.В.	102, 104	Скороход Н.Н.	81		
Пхалагов Ю.А.	8, 85	Смалихо И.Н.	94, 95	Х	
Пьянков С.А.	83	Соловьянова Н.А.	19	Хаматнурова М.Ю.	49
Пьянова Э.А.	40	Солодов А.М.	102, 104	Хасанов А.С.	85
Пяткин Ф.В.	74	Солодов А.А.	50, 102, 104	Хлистун И.В.	83
		Солодов А.М.	50	Ходжер Т.В.	7, 17, 72, 73
Р		Сопруненко Э.Е.	40	Хуриганова О.И.	17
Радионов В.Ф.	3, 7	Сормисоков З.Т.	88		
Разенков И.А.	92, 93, 96, 97, 100	Стариков В.И.	104	Ц	
Размоллов А.А.	60	Стариков Ф.А.	106	Цветков А.Д.	111
Рапута В.Ф.	44, 63, 64, 65, 70	Стародымова Д.П.	71	Цветова Е.А.	46
Рассказчикова Т.М.	58	Старченко А.В.	38, 39, 42, 46	Цык Р.Ш.	94, 95, 96
Рахимов Р.Ф.	33	Степанова А.Э.	64	Цыдыпов В.В.	11, 67
Резникова И.К.	19	Столярчук С.Ю.	11		
Рейно В.В.	98	Суковатов К.Ю.	66	Ч	
Репина И.А.	75	Суковатова А.Ю.	68	Чайковский А.П.	101
Решетников А.А.	4	Сулакшина О.Н.	52	Ченцов А.В.	43, 103
Рихванов Л.П.	68	Сунграпова И.П.	11	Черепанов В.Н.	103
Робертус Ю.В.	68	Суторихин И.А.	21, 23, 77, 87	Чернов Д.Г.	6, 7, 8
Родимова О.Б.	49, 50	Суханов А.Я.	84	Чернышова О.А.	77
Родина К.В.	24, 57	Сухарев А.А.	94, 96	Чеснокова Т.Ю.	43, 103
Ромашова Е.В.	4			Чупина О.С.	57
Ростов А.П.	60, 85, 91, 93, 96, 108	Т		Чуруксаева В.В.	46
Рукоусев А.Л.	109	Таловская А.В.	88		
Рычков Д.С.	96, 97	Тентюков М.П.	88	Ш	
Рябчинская Н.А.	24	Теплякова Т.В.	19	Шалыгина И.Ю.	69
		Терентьева И.Е.	16	Шалымов Е.В.	111
С		Терентьева М.В.	38	Шамрин А.М.	18, 22, 29
Сабреков А.Ф.	16, 21	Терпугова С.А.	8, 10, 13	Шевцов Е.С.	99
Савельева Е.С.	56, 61	Тивилева М.И.	96	Шевченко В.П.	6, 10, 71
Сазанович В.М.	94, 95, 96	Тикунова Н.В.	20	Шелдакова Ю.В.	109, 111
Сакерин С.М.	3, 6, 8, 10, 17	Тимофеев Д.Н.	11	Шерстобитов М.В.	94
Сакирко М.В.	18, 22, 29	Титов А.А.	35, 77, 86	Шестернин А.Н.	95, 96
Самаркин В.В.	109	Тихомиров Б.А.	32	Шефер Н.А.	60
Самойлова С.В.	7, 101	Тихонов А.В.	4	Шинкаренко А.А.	26
Самохвалов И.В.	84	Токарев В.М.	79	Ширяев И.Ф.	76
Сапрыкин Е.И.	74	Токачев Г.Н.	12, 26	Шиховцев А.Ю.	107, 112
Сафатов А.С.	19, 20, 76, 83	Толмачев Г.Н.	43	Шишигин С.А.	80
Сахарова Е.Ю.	74	Торгаев А.В.	75	Шишкин Е.В.	96
Сваровская Л.И.	72	Точилкина Т.А.	75	Шишко В.А.	11
Свириденков М.А.	14, 65, 66	Троицкий А.В.	75	Шишков П.О.	77
Сезько Н.П.	72	Трубицын Д.А.	76	Шмаргунов В.П.	6, 8, 9, 10, 33, 82
Семенов М.Ю.	73	Турбинская О.Д.	64	Шмирко К.А.	11, 13, 87
Семенова А.А.	38	Турсуналиева Е.М.	68	Шнягин Р.А.	106
		Турчинович Ю.С.	3, 17	Шубенкова Е.В.	111
		У		Шуваева О.В.	63
		Ужегов В.Н.	8, 85	Шувалов В.Г.	76
		Усольцева М.В.	29		

Аэрозоли Сибири

Эккердт К.Ю.	Э	23	Asmi E.	5	Kim D.H.	К	84
Юдин А.С.	Ю	64	Backman J.	5	Ogren J.	О	5
Юдин М.С.		41	Bergin M.	5			
Юсупов Д.В.		68					
Ягнятинский Д.А.	Я	106	Choi S.C.	84	Schmeisser L.	S	5
Языков Е.Г.		88			Sharma S.		5
Яковлев А.Е.		71	Eleftheriades K.	5	Sheridan P.		5
Якшина Д.Ф.		45, 59			Starkweather S.		5
Ярославцева Т.В.		44, 63, 64, 65, 70	Fiebig M.	5	Tunved P.	T	5
Яушева Е.П.		8, 9, 10					
Яценко И.Г.		29, 30, 72	Imasu R.	48, 49	Uttal T.	U	5
Agranat V.	А	40					
Andrews E.		5	Jefferson A.	5	Werner M.	W	48

XXIII Рабочая группа

АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

Тезисы докладов

Подписано к печати 17.11.2016.
 Формат 60×84/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.
 Гарнитура «Times New Roman».
 Усл. печ. л. 13,49. Уч.-изд. л. 10,14. Тираж 220 экз.

Издательство Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.
 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1.
 Тел.: (382-2) 49-23-84; факс: (382-2) 49-20-86

Тираж отпечатан в типографии ИОА СО РАН.
 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1.
 Тел.: (382-2) 49-10-93