

УДК 551.521

## РОССИЙСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ АТМОСФЕРНОЙ РАДИАЦИИ В 2007–2010 гг.

© 2013 г. Ю. М. Тимофеев, Е. М. Шульгина

Санкт-Петербургский государственный университет  
198904 Санкт-Петербург, Петродворец, ул. Ульяновская, 1

E-mail: shulgina@troll.phys.spbu.ru

Поступила в редакцию 19.06.2012 г.

Краткий обзор, подготовленный Российской комиссией по атмосферной радиации, содержит наиболее значимые результаты работ в области исследований атмосферной радиации, выполненных в 2007–2010 гг. Он является частью Национального отчета России по метеорологии и атмосферным наукам, подготовленного для Международной ассоциации по метеорологии и атмосферным наукам (IAMAS). За истекший период Российская комиссия по атмосферной радиации совместно с заинтересованными ведомствами и организациями провела конференцию “Физика и образование”, посвященную 75-летию кафедры физики СПбГУ (2007), Международную симпозиум стран СНГ “Атмосферная радиация и динамика” (2009) и 5-ю Международную конференцию “Атмосферная физика, климат и окружающая среда” (2010). На конференциях обсуждались актуальные проблемы современной физики атмосферы – перенос излучения и атмосферная оптика, парниковые газы, облака и аэрозоли, дистанционные методы измерений, новые данные наблюдений. В настоящем обзоре представлены пять направлений, охватывающих весь спектр исследований, проводимых в области атмосферной радиации.<sup>1</sup>

**Ключевые слова:** атмосферная радиация, перенос излучения, атмосферная спектроскопия, радиационная климатология, аэрозоль, наземное и спутниковое дистанционное зондирование.

DOI: 10.7868/S0002351513010094

### ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ

Многочисленные исследования в этой области были посвящены изучению процессов переноса излучения в различных средах и для различных геометрий измерений, развитию методов и алгоритмов для решения уравнения переноса излучения в приложении к задачам атмосферной оптики. Теоретические работы в этой области посвящены анализу физических основ теории переноса на основе матричных функций Грина [1] и исследованию непрерывных свойств решения краевой задачи для уравнения переноса с обобщенными условиями сопряжения на границе раздела сред [2].

<sup>1</sup> Материалы представлены Арефьевым В.Н. и Нерушевым А.Ф. (НПО “Тайфун”), Бассом Л.П. (ИПМ РАН), Бобылевым Л.П. (НАНСЕН центр), Будаком В.П. (МЭИ), Горчаковым Г.И. (ИФА РАН), Журавлевой Т.Б., Сакериным С.М., Панченко М.В. и Пономаревым Ю.Н. (ИОА СО РАН), Захаровым В.И. (УрГУ), Каролем И.Л., Шаламянским А.М. (ГГО), Кадыгровым Е.Н. (ЦАО), Куликовым Ю.Ю. (ИПФ РАН), Левиным И.М. (ИО РАН), Огибаловым В.П. и Янковским В.А. (СПбГУ), Радионовым В.Ф. (ААНИИ), Розановым С.Б. (ФИ РАН), Рублевым А.Н. (РНЦ “Курчатовский институт”), Успенским А.Б. (НПО Планета), Чубаровой Н.Е. (МГУ).

Интенсивно развиваются различные методы теории переноса излучения в МЭИ. Сформулирован новый подход к решению уравнения переноса излучения (УПИ), основанный на разделении решения на анизотропную и регулярную части [3]. На его основе исследовано решение векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ) для случая плоского слоя мутной среды [4], проведено его сравнение с известными методами [5, 6]. Предложен матрично-операторный подход для метода решения ВУПИ для стратифицированной среды с произвольной подложкой на основе выделения анизотропной части [7], проанализировано влияние аэрозоля на распределение поляризации излучения по небосводу [8] и угловое распределение электронов, рассеянных плоской мишенью [9], что открывает возможности моделирования спутниковых измерений, полученных высокоточными средствами современной электронной микроскопии.

В ИАО СО РАН в рамках теории многократного рассеяния излучения сформулирована система уравнений переноса, строго описывающая процесс переноса широкополосного оптического из-

лучения в дисперсных средах. На их основе предложены и реализованы новые алгоритмы статистического моделирования, позволившие решить ряд практических задач лазерного зондирования атмосферы и растительного покрова [10, 11]. Выполнено моделирование переноса солнечного излучения в различных атмосферных условиях, предложены различные методы расчета атмосферных функций пропускания и потоков излучения [12–19]. Разработан новый метод определения микрофизических параметров аэрозоля из спектральных измерений оптической толщины и яркости солнечного ореола [20]. Оценено влияние качества спектроскопической информации на моделирование потоков радиации [21–23]. Моделирование атмосферного переноса излучения с различными спектроскопическими базами данных линий поглощения показало, что линии водяного пара, отсутствующие в базе данных HITRAN (<http://cfa-www.harvard.edu/hitran/>) в спектральном диапазоне 0.5–1 мкм, необходимо учитывать в атмосферных приложениях, так как вклад этих линий в пропускание, вычисленное даже со средним спектральным разрешением (20 см<sup>-1</sup>), может достигать 1.5% на вертикальной трассе и до 4% на наклонных трассах, а вклад изотопических модификаций HDO может достигать 1% [24].

В ИПМ им. М.В. Келдыша РАН совершенствуются численные методы моделирования переноса излучения в атмосфере: разработан упрощенный алгоритм расчета коэффициента яркости солнечного света, отраженного от пространственно-неоднородной атмосферы, составленной из нескольких крупных однородных зон; выполнена модернизация численного алгоритма решения уравнения переноса излучения в 1D, 2D, 3D областях при дискретном представлении индикатрисы рассеяния на параллельных компьютерах с разделенной памятью (программа РАДУГА); выполнено сравнение различных методов дискретных ординат в расчетах плоского альбедо для оптически бесконечно толстого слоя морской воды; рассмотрены: а) полуаналитический метод решения уравнения переноса с малоугловым приближением для анизотропной части решения; б) итерационный метод решения уравнения переноса с помощью сеточных аппроксимаций; в) итерационный метод решения интегрального уравнения Амбарцумяна. Полученные результаты позволяют построить улучшенную QSSA аппроксимацию плоского альбедо для использования в задачах дистанционного зондирования [25–31].

В СПбГУ продолжаются исследования процессов переноса неравновесного излучения в средней и верхней атмосфере. Построена полная модель фотодиссоциации озона и молекулярного кислорода с учетом кинетики электронно-колебательно-возбужденных продуктов фотолиза

этих компонент в мезосфере и нижней термосфере (интервал высот 50–125 км). Эта модель использовалась для постановки и решения новых прикладных задач (алгоритмы восстановления высотных профилей озона и водяного пара, параметризация и анализ точности решений прямой и обратной задач и пр.) [32, 33]. Для обоснования полученных результатов использовался метод анализа чувствительности полной модели для прямой и обратной задачи [34]. Применение данной модели к восстановлению высотных профилей концентрации H<sub>2</sub>O из измерений интенсивностей эмиссий в 6.3 мкм полосе инфракрасным радиометром SABER со спутника TIMED демонстрируется в работе [35].

Впервые решена фундаментальная задача переноса излучения (ПИ) в атмосфере Марса в колебательно-вращательных (К-В) полосах молекул CO<sub>2</sub> (полосы около 4.3, 2.7, 2.0, 1.6, 1.4, 1.25, 1.2 и 1.05 мкм) и CO (полосы около 4.7, 2.3, 1.6 и 1.2 мкм) при колебательном нарушении локального термодинамического равновесия (НЛТР) с учетом поглощения и рассеяния излучения на аэрозолях. На основе техники ускоренных лямбда-итераций разработан оригинальный метод решения задачи ПИ в молекулярных полосах при колебательном НЛТР в планетной атмосфере с учетом перекрытия по частотам спектральных линий и отражения излучения подстилающей поверхностью планеты [36, 37]. Этот метод также позволяет учитывать аэрозольное рассеяние и поглощение излучения на частотах линий К-В переходов CO<sub>2</sub> и CO для индикатрис общего вида. Выполнены расчеты спектров как лимбового излучения, так и излучения, уходящего на границах атмосферы Марса под различными углами, в К-В полосах молекул CO<sub>2</sub> и CO в БИК спектральном диапазоне при учете процессов аэрозольного поглощения и рассеяния. Предложено теоретическое обоснование для нового метода восстановления оптических свойств марсианских аэрозолей по измерениям лимбового излучения в БИК полосах CO<sub>2</sub> и CO.

#### АТМОСФЕРНАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Основное направление работ по молекулярной спектроскопии атмосферных газов – экспериментальное исследование спектроскопических параметров атмосферных газов, совершенствование методов расчета параметров спектральных линий, функций пропускания и пополнение банков спектроскопических данных (ИОА СО РАН, ИПФ РАН, СПбГУ, ТГУ).

Интенсивные экспериментальные исследования и моделирование спектроскопических параметров атмосферных газов при различных усло-

виях и в различных спектральных диапазонах [38–49], спектров молекул и межмолекулярных взаимодействий [50–58] ведутся в ИОА СО РАН. Восстановлен наиболее полный и согласованный набор колебательно-вращательных уровней энергии молекул  $\text{HD}^{18}\text{O}$  и  $\text{D}_2^{18}\text{O}$  [59–63]. Результаты этих исследований (совместно с учеными Франции, Англии, Бельгии и США) пополнили базу данных HITRAN новой и уточненной информацией [64]. В рамках проекта IUPAC “A database of water transitions from experiment and theory” совместно с учеными других стран определены высокоточные согласованные уровни энергии молекул  $\text{H}_2^{17}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ,  $\text{HD}^{16}\text{O}$ ,  $\text{HD}^{17}\text{O}$ ,  $\text{HD}^{18}\text{O}$ , удовлетворяющие основным критериям достоверности, исходя из критической экспертизы всех опубликованных колебательно-вращательных переходов [65–70].

Впервые в эксперименте зарегистрировано континуальное поглощение водяного пара для видимой области спектра, экспериментальные результаты сравнены с результатами расчетов с использованием двух последних версий полуэмпирической модели континуума СКД. Разработана методика расчета параметров контура линий водяного пара с использованием точных волновых функций, позволяющая рассчитывать уширение и сдвиг линий, обусловленных переходами на высоковозбужденные состояния (до ближнего ультрафиолетового диапазона). Проведены массовые расчеты параметров контура и их коэффициентов температурной зависимости [71–76]; полученные данные помещены в информационную систему ATMOS и европейский банк данных GEISA [77]. Значителен вклад сотрудников ИОА и в совершенствование других банков данных и создание информационно-вычислительных систем [78–80].

Проведены высокоточные измерения спектров поглощения  $\text{CH}_4$  и  $\text{C}_2\text{H}_4$  и проанализировано влияние особенностей спектра поглощения этилена на показания лазерного анализатора метана [81–84]. На основе высокоточных измерений, выполненных методами оптико-акустической и Фурье-спектрометрии, совместно с университетом Бургундии (Франция) и Томским госуниверситетом впервые проведен анализ спектра поглощения этилена в области  $4300\text{--}6300\text{ см}^{-1}$ , практически используемой для мониторинга концентрации метана в атмосфере из спутниковых измерений. Получены новые данные о спектре поглощения этилена, отсутствующие в последней версии базы данных HITRAN [85–87].

## РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ И АЭРОЗОЛЬ

Работы по данной тематике велись в нескольких направлениях: мониторинг составляющих радиационного баланса (РБ) и атмосферных составляющих, влияющих на радиационный режим; изучение климатических трендов компонентов РБ у поверхности суши; анализ радиационных эффектов атмосферных газов, аэрозоля и облачности.

На основе актинометрических наблюдений, проводящихся метеорологической обсерваторией МГУ с 1955 г., проанализирован многолетний режим составляющих радиационного баланса, суммарной радиации в широких участках спектра (ультрафиолетовой, фотосинтетически активной) и естественной освещенности земной поверхности при безоблачном небе, переменной облачности вертикального развития и сплошном покрове облаков разных ярусов. Проведена оценка тенденций многолетней изменчивости оптических характеристик атмосферы. Рассмотрено влияние крупного города, дымной мглы и вулканических извержений на приход солнечной радиации и характеристики прозрачности атмосферы. Предложен ряд косвенных методов для расчета фотосинтетически активной радиации и естественной освещенности [88]. В монографии [89] систематизированы и обобщены данные уникальных наблюдений за 50 лет (1955–2004 гг.) об аэрозольной оптической толщине (АОТ), интегральной прозрачности и влагосодержании атмосферы. Отмечено существенное уменьшение аэрозольной мутности в Москве в конце XX века. Оценка линейных трендов временных рядов для станций с различной антропогенной нагрузкой на территории России подтвердила глобальный характер уменьшения аэрозольной мутности атмосферы. Отмечена общая тенденция к увеличению прозрачности атмосферы в Балтийском регионе, Центральной Европе и Москве [90]. Показано, что в многолетней изменчивости аэрозольной оптической толщины для различных географических регионов не проявляется значимой зависимости от циклов солнечной активности [91].

По данным многолетних измерений эритемной УФ-радиации за период с 1999 по 2006 гг. вместе с результатами модели реконструкции за период с 1968 г. проанализировано влияние различных атмосферных параметров [92]. Показано, что с 1980 г. наблюдается заметный рост эритемной радиации за счет озона (2.5% в декаду), облачного эффективного пропускания (2.1% за декаду) и аэрозоля (1.1% за декаду). Исследовано влияние пожаров 2002 г. на метеорологические, радиационные и оптические свойства атмосферы в районе Москвы [93]. По данным спутникового прибора MODIS и сети наблюдений AERONET оцене-

но сезонное распределение аэрозольных свойств над Европой и их влияние на УФ-радиацию [94], а по данным трехлетних наблюдений на сети AERONET – радиационные эффекты аэрозольного загрязнения в Москве [95].

В ИОА СО РАН проанализированы многолетние тенденции изменения составляющих радиационного баланса [96, 97], а также облачности [98] и оптических и аэрозольных характеристик атмосферы (АОТ) [99–104] для условий Томска и некоторых других районов азиатской части России. На основе экспедиционных исследований показано, что весенняя атмосфера в Приморье и Японском море отличается двукратным превышением аэрозольного замутнения в сравнении с другими (морскими и континентальными) районами умеренных широт. Высокие значения АОТ наблюдаются во всем диапазоне спектра (0.3–2.14 мкм) и обусловлены совокупным влиянием выносов аэрозоля (пылевого, антропогенного, дымового) из соседних районов континента [105, 106]. Результаты измерений АОТ над океанами, сравнения со спутниковыми данными и модельными расчетами, роль морской аэрозольной сети Maritime Aerosol Network (MAN) как составляющей сети AERONET обсуждаются в работах [107, 108].

На основе математического моделирования в НИЦ “Курчатовский институт” получены количественные оценки ошибок, возникающих при игнорировании особенностей рассеяния света крупными частицами, в расчетах интегральных потоков солнечного излучения и спектральных яркостных температур уходящего ИК-излучения атмосферы. Оценки были выполнены применительно к алгоритму восстановления аэрозольных характеристик известной сети AERONET при различной пылевой замутненности атмосферы [109].

Сотрудниками ИФА РАН в 2007–2008 гг. в Подмосковье выполнен цикл комплексных наблюдений ряда газовых и аэрозольного компонентов атмосферы, прослежена связь их вариаций с атмосферными условиями [110, 111]. Проанализированы основные статистические параметры вариаций массовых концентраций грубодисперсного аэрозоля в г. Москве [112]. Проведены совместные измерения оптическими методами массовой концентрации сажевого и субмикронного аэрозоля в приземном слое воздуха в местах с различной степенью антропогенной нагрузки и в фоновых условиях. Величина, характеризующая относительное содержание массы сажи в массе субмикронного аэрозоля, позволяет выделить роль локальных и региональных источников и проследить гетерогенные процессы трансформации аэрозоля [113].

Радиационный режим, специфика многолетней изменчивости суммарной солнечной радиа-

ции и характеристик прозрачности атмосферы в полярных областях постоянно исследуются сотрудниками ААНИИ [114, 115]. В результате статистического анализа данных измерений АОТ в полярных регионах различными приборами и группами исследователей в течение 30 лет величина тренда АОТ оценена в  $-1.6\% \dots -2.0\%$  в год в зависимости от места измерений [116]. В работах [117, 118] приведены результаты исследований аэрозольных характеристик атмосферы с борта НЭС “Академик Федоров” в 52 и 53 Российских антарктических экспедициях.

Многие исследования посвящены изучению радиационных эффектов аэрозоля, в том числе в ситуациях пожаров и извержений вулканов. В ИОА СО РАН на основе оригинальных алгоритмов и данных, полученных с использованием спутниковых и многолетних наземных измерений, начаты исследования радиационного форсинга аэрозоля и его чувствительности к изменению входных параметров в сибирском регионе [119–121]. На основе экспериментально-теоретических исследований определены радиационные характеристики аэрозоля атмосферной толщи во время дымов лесных пожаров в сравнении с обычными условиями. Показано, что в сравнении с фоновыми условиями АОТ (0.5 мкм) в среднем возрастает в  $\sim 2.7$  раза, а радиационный форсинг аэрозоля на нижней границе атмосферы увеличивается от  $-22$  (фоновый) до  $-50$  Вт/м<sup>2</sup> в дымовых ситуациях [122]. Впервые экспериментально обнаружено, что слой повышенного содержания сульфатного аэрозоля вулканогенного происхождения в нижней стратосфере приводит к появлению дополнительной области озоновой депрессии в средней стратосфере на высотах более 20 км за счет нарушения фотохимического баланса, индикатором чего служит поведение NO<sub>2</sub> [123].

В ГГО проанализирован ряд результатов по оценке величины радиационного форсинга аэрозоля в глобальном масштабе и его связи с другими индексами потепления климата [124, 125]. Получены оценки радиационных эффектов различных стратосферных аэрозольных экранов, проектируемых для борьбы с потеплением глобального климата [126, 127].

В УрГУ разработана оригинальная модель теплового баланса поверхности Земли, учитывающая экспоненциальную температурную зависимость в поглощении теплового излучения в горячих колебательных полосах CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O и предсказывающая существование стационарных тепловых режимов поверхности нашей планеты в области температур выше точки кипения воды. Исследован режим взрывного парникового эффекта, приводящего к сильному перегреву поверхности Земли (более 100 градусов) при превы-

шении порогового значения концентрации углекислого газа в атмосфере [128–130].

В 2007–2010 гг. были продолжены работы специалистов ЦАО и ГМЦ по выполнению субпроекта WMO GURME (Global Urban Research Meteorology and Environmental Project). Проводились исследования вертикальной структуры острова тепла над Москвой путем непрерывных измерений профилей температуры пограничного слоя атмосферы в трех пунктах с помощью российских микроволновых температурных профиломеров МТП-5 [131–134]. Летом 2010 г. такие данные были получены в условиях аномально высоких температур и сильной задымленности. Уникальные данные об особенностях термической стратификации атмосферного пограничного слоя (АПС) в горной котловине и узком горном каньоне при различных синоптических ситуациях проанализированы в работе [135]. В 2007 г. сотрудниками ИФА РАН и ЦАО были получены новые данные об особенностях термической стратификации АПС над морской поверхностью в прибрежной зоне при различных синоптических ситуациях в рамках комплексной экспедиции по исследованию температурно-ветрового режима в береговой зоне. Во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. в г. Новосибирске специалистами ЦАО, НИРФИ и ИФА РАН под общим руководством профессора Горчакова Г.И. получены уникальные данные о влиянии солнечного затмения на метеорологический режим атмосферы [136–138].

#### ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Пассивное дистанционное зондирование озонферы и малых газовых составляющих атмосферы в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах спектра, анализ их изменчивости и совершенствование методик измерений и интерпретации ведется рядом институтов (ИОА СО РАН, ИФА РАН, СПбГУ, ФИ РАН, НПО “Тайфун”, ИРЭ РАН, ГГО, ААНИИ, ИПФ РАН, ЦАО и ГМЦ).

Продолжен многолетний мониторинг и анализ вертикального распределения озона (ВРО) в атмосфере над Москвой с помощью размещенного в ФИАН усовершенствованного малошумящего спектрорадиометра, работающего на частоте 142.2 ГГц [139]. Большое внимание уделяется в ИОА СО РАН, ГГО, ЦАО анализу данных измерений и моделированию содержания озона, исследованию процессов его разрушения [140–145].

В ИПФ РАН по данным многолетних микроволновых измерений установлена связь вариаций содержания стратосферного озона зимней Арктики со структурой зимних полярных циклонов.

Проведено сравнение наземных наблюдений с данными спутникового инструмента EOS MLS (спутник AURA) [146]. Во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 г. на Кисловодской высокогорной научной станции зарегистрировано увеличение концентрации мезосферного озона. На высоте 60 км ее рост составил 40%, что близко к величине суточных вариаций озона [147]. Разработан новый метод анализа данных об общем содержании озона при наблюдениях на движущихся платформах [148].

В СПбГУ продолжены регулярные наземные спектроскопические измерения общих содержаний (ОС) метана и угарного газа во всей толще атмосферы. Проведен анализ временной изменчивости ОС метана и его долговременных трендов вблизи Санкт-Петербурга [149]. Показано, что в последние годы произошло существенное изменение трендов ОС метана – положительный тренд уменьшился, а для ряда месяцев года он стал отрицательным. Очевидно, что для получения достоверных прогнозов изменений климата планеты в ближайшие десятилетия потребуются информация не только о глобальных трендах ОС метана, но и о пространственно-временных вариациях этих трендов. Проведено исследование факторов, определяющих аномальную изменчивость общего содержания окиси углерода в районе Санкт-Петербурга [150].

С 2009 г. в Петергофе начаты измерения спектров солнечного ИК-излучения Фурье-спектрометром Брукера высокого спектрального разрешения и комплексное восстановление ОС многих климатически активных газов [151–153]. Изучены возможности использования наземных измерений спектров прямого солнечного ИК-излучения с высоким спектральным разрешением для определения элементов вертикальных распределений содержания озона [154]. Предложен наземный синергетический метод определения вертикальных профилей содержания озона, основанный на одновременных измерениях прямого солнечного ИК-излучения с высоким спектральным разрешением и спектров МКВ нисходящего теплового излучения [155]. Метод позволяет определять вертикальный профиль озона в диапазоне высот 0–70 км. Сравнения наземных измерений общего содержания озона различными приборами (ФС Брукер, спектрофотометр Добсона, озонометр М-124) и спутниковых данных прибора OMI показали, что ФС Брукера способен измерять ОС озона со случайной погрешностью ~3 ДЕ [156].

Проанализированы данные регулярных наземных измерений (с помощью автоматического спектрального комплекса для наземных спектроскопических измерений рассеянного солнечного излучения) ОС NO<sub>2</sub> (2004–2010 гг.) и СО (1995–2009 гг.) в районе Санкт-Петербурга (Пет-

родворец). Показано, что данные сумеречных наземных измерений ОС  $\text{NO}_2$  хорошо согласуются с результатами спутниковых измерений (например, прибора SCIAMACHY) — среднее расхождение составило всего  $0.07 \times 10^{15}$  мол/см<sup>2</sup> (относительная погрешность ~12%). Исследовано влияние лесных пожаров на временную изменчивость общего содержания СО в атмосфере. Проведен анализ характеристик годового хода и долговременного тренда ОС СО для района Санкт-Петербурга, выявивший отсутствие статистически значимых долговременных изменений общего содержания СО [157, 158].

На основе экспериментальных данных и результатов численного моделирования (модель CMAS) осуществлен анализ пространственно-временной изменчивости полей концентраций и содержаний СО,  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_3$  в тропосфере для северо-запада России [159]. Оценено влияние эмиссии Санкт-Петербурга на значения концентраций и содержаний СО,  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_3$  в тропосфере. Показано, что при определенных синоптических условиях шлейф Санкт-Петербурга может быть детектирован на расстоянии более 300 км, что может влиять на качество атмосферного воздуха сопредельных государств.

В ИОА СО РАН на основании многолетнего самолетного мониторинга содержаний парниковых газов над югом Западной Сибири установлено, что концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$  растут во всей толще зондируемой атмосферы (0–7 км) с темпом  $1.9$  млн.<sup>-1</sup>/год и  $0.73$  млрд.<sup>-1</sup>/год соответственно. При этом в многолетнем ходе концентрации  $\text{CH}_4$  обнаружены периодические вариации без однозначного тренда [160, 161]. Совместно с Лимнологическим институтом СО РАН впервые проведены комплексные физико-химические и биологические исследования оз. Байкал для изучения газообмена в системе “вода–атмосфера”. Установлено, что весной (май–июнь) поток диоксида углерода направлен в атмосферу, а в летне-осенний период (август–сентябрь) происходит сток диоксида углерода на водную поверхность озера [162–166].

В ААНИИ продолжают регулярные измерения малых газовых компонент атмосферы на антарктических станциях. В работе [167] представлены результаты измерений общего содержания окиси углерода и метана, полученные методом солнечной абсорбционной спектроскопии на ст. Молодежная (1977–1978 гг.), в обсерватории Мирный (1982 по 1992 гг.) и на ст. Новолазаревская (2003–2006 гг.). Особенности наблюдений общего содержания озона в северной и южной полярных областях приведены в работе [168].

Сотрудниками НПО “Тайфун” продолжают регулярные измерения малых газовых составляющих (МГС) атмосферы в Обнинске, на Иссyk-Куле

(совместно с ИФН КГНУ) и на станции Новолазаревская (совместно с ААНИИ, ГГО, ИФА РАН). Данные многолетнего мониторинга позволили определить все наиболее важные характеристики изменчивости основных радиационно-активных газов: тренды, сезонные и другие вариации с разными периодами [169–173].

В НИЦ “Курчатовский институт” проведена доработка алгоритма определения ОС  $\text{NO}_2$  по данным AERONET. Выполнена валидация его работы путем сопоставления с оценками ОС  $\text{NO}_2$  на основе параллельных измерений спектрометром ORIEL, проводимых ИФА РАН, и с оценками спутникового спектрометра SCIAMACHY, полученными над пунктами AERONET в различных районах земного шара. Для оценки радиационного форсинга аэрозоля и  $\text{NO}_2$  в условиях безоблачной атмосферы разработана интерактивная (on-line) программа CSIF 2009 (Calculator of Solar Integral Fluxes) (<http://litms.molnet.ru/csif1/index.php>). С ее помощью проведены расчеты радиационного форсинга  $\text{NO}_2$  по данным 20 пунктов AERONET в 2003–2006 гг. [174].

В УрГУ запущен в эксплуатацию современный экспериментальный комплекс – Уральская атмосферная Фурье-станция (УАФС), расположенная в фоновом лесном районе примерно в 80 км на северо-запад от г. Екатеринбурга ( $h = 300$  м;  $57.038^\circ$  N;  $59.545^\circ$  E). УАФС оснащена автоматизированным Фурье-спектрометром BRUKER IFS 125M, сопряженным с солнечным трэкером A547N. Она предназначена для измерения спектров пропускания атмосферой солнечного излучения в спектральном диапазоне  $450\text{--}25000$  см<sup>-1</sup> с максимальным спектральным разрешением  $0.0035$  см<sup>-1</sup> с целью мониторинга парниковых и загрязняющих атмосферу газов и валидации спутниковых данных. Измерения спектров пропускания атмосферой солнечного излучения проводятся на УАФС с июля 2009 г. в основном в спектральном диапазоне  $4000\text{--}12000$  см<sup>-1</sup> с разрешением  $0.02$  см<sup>-1</sup> в ясные безоблачные дни в соответствии с требованиями международной сети TCCON (Total Carbon Observing Network), <https://tcccon-wiki.caltech.edu/Sites> [175]. Предложен и апробирован метод определения относительного содержания тяжелой воды (отношение концентрации HDO/H<sub>2</sub>O в водяном паре) в атмосфере из ее ИК-спектров пропускания высокого разрешения [176, 177].

В СПб филиале ИО им. П.П. Ширшова РАН продолжается разработка методик дистанционного пассивного и активного (лидарного) зондирования толщи океана и его поверхности [178–181], видения подводных объектов при авианаблюдении из атмосферы через взволнованную поверхность моря [182–184], идентификации нефтяных загрязнений поверхности, толщи воды и ледяного покрытия моря [185].

В ряде институтов проводится разработка и создание приборов для радиационных исследований и дистанционного зондирования. В ИОА СО РАН создан портативный солнечный фотометр SPM для измерения АОТ и влагосодержания атмосферы в мобильных условиях, который превосходит по спектральному диапазону (0.31–2.14 мкм) и числу спектральных каналов зарубежный аналог Microtops II (США). Разработана новая версия солнечного фотометра SP-9, предназначенного для круглогодичного автоматизированного мониторинга АОТ и влагосодержания атмосферы [186, 187], создана информационная система для сетевых солнечных фотометров [188]. Разработан лидар для измерений распределения концентрации озона в верхней тропосфере–нижней стратосфере, с помощью которого реализовано зондирование озона в диапазоне высот 5–18 км [189]. В ГГО продолжаются испытания опытных образцов ультрафиолетового озонного спектрометра, предназначенного для переоснащения озонметрических станций РФ [190], разработана аппаратура для прямых измерений радиационного притока тепла в атмосфере на основе оптико-акустического приемника радиации, проведены эпизодические натурные измерения [191, 192]. В ФИ РАН ведутся разработка и изготовление спектрометров нового поколения для дистанционного зондирования озона, окиси хлора и некоторых других малых газовых составляющих атмосферы с поверхности Земли на миллиметровых волнах [193]. В ИПФ РАН разработан мобильный микроволновый спектрометрический прибор нового поколения для исследований озонового слоя Земли. Прибор обеспечивает прием теплового радиоизлучения стратосферного озона на частоте его вращательного перехода 110836 МГц в полосе частот 240 МГц. Спектральное разрешение в центре линии  $O_3 - 1$  МГц. Озонметр оснащен автоматизированной системой управления процессом измерения, калибровки и предварительной обработки данных. Прибор позволяет получать распределение озона по высоте от 20 до 60 км в течение 15–20 мин [194].

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Исследования, посвященные созданию методов интерпретации спутниковых измерений, составляют основную часть разработок в этом направлении.

В СПбГУ (совместно с НПО “Планета”) определены на основе численных экспериментов потенциальные точности спутникового зондирования с помощью новой российской аппаратуры в ИК и МКВ областях спектра (спутник “Метеор”, аппаратура ИКФС-2 и МТВЗА-ГЯ) различных параметров атмосферы и поверхности: вертикальных профилей температуры и влажности, со-

держания озона и ряда парниковых газов, температуры океанов и суши, излучательных способностей суши, влагозапаса облаков и скорости приводного ветра [195–198]. Усовершенствована новая методика определения общего содержания озона (ОСО) по данным измерений прибора SEVIRI на геостационарных спутниках. Предложенный подход к определению ОСО позволяет определять также скорость ветра в стратосфере [199, 200]. Разработаны методические основы, определены потенциальные точности и информативность спутникового лимбового метода определения оптических и микрофизических характеристик стратосферного аэрозоля на основе интерпретации измерений рассеянного солнечного излучения в видимой и ближней ИК-областях спектра [201–204]. Исследованы возможности учета горизонтальной неоднородности и нестационарности атмосферы при использовании различных спутниковых методов с касательной геометрией измерений [205]. На основе численного моделирования микрофизических и оптических характеристик тропосферного аэрозоля изучены статистические связи между оптическими характеристиками в ближней ИК-области спектра. Эти данные необходимы при интерпретации спутниковых измерений общих содержаний углекислого газа [206].

По данным измерений аппаратуры SAGE III (российско-американский эксперимент на МИСЗ “Метеор”) изучены вариации содержания озона и двуокиси азота, тренды озона на различных высотах над территорией России, оптические и микрофизические характеристики стратосферного аэрозоля и полярных стратосферных облаков [207–212]. Осуществлен региональный космический мониторинг содержания двуокиси азота в тропосфере [213].

Сотрудники СПбГУ принимали активное участие в международных программах валидации данных спутниковых измерений. Проведены сопоставления различных спутниковых измерений вертикальных профилей содержания озона с данными наземных МКВ измерений [214]. Исследовано качество данных спутниковых измерений общего содержания двуокиси азота ( $NO_2$ ) аппаратурой OMI на основе сопоставлений с данными наземных спектроскопических измерений по методике DOAS [215, 216]. Продемонстрирована важность учета суточных вариаций содержания  $NO_2$  в стратосфере в задаче валидации результатов спутниковых измерений – в том числе и данных измерений аппаратуры MIPAS [217]. Изучены возможности совершенствования стандартного алгоритма интерпретации DOAS-измерений общего содержания озона, используемого на станциях международной сети NDACC [218].

Исследования сотрудников ИФА РАН посвящены анализу и интерпретации спутниковых наблюдений атмосферных примесей. Спутниковые измерения прибором MOPITT были использованы для исследования глобальных и региональных эффектов экваториальной квазидвухлетней цикличности, проявляющихся в содержании CO [219]. По данным NO<sub>2</sub>, получаемым прибором OMI, проведено исследование тропосферного содержания NO<sub>2</sub> над московским регионом: проанализированы особенности его пространственного распределения, описаны характеристики сезонного и недельного циклов, а также межгодовой и долговременной изменчивости, проведен сравнительный анализ сезонных и недельных циклов тропосферного содержания NO<sub>2</sub> над Москвой и крупнейшими мировыми агломерациями [220, 221]. С привлечением спутниковых наблюдений оптических характеристик аэрозоля, а также содержаний CO, NO<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> и водяного пара проведен анализ пространственно-временной эволюции области загрязнения региона продуктами горения и взаимосвязи изменений различных атмосферных параметров в ходе развития региональной погодной аномалии и массовых лесных пожаров, приведших к задымлению европейской части России летом 2010 г. [222]. В НИЦ “Курчатовский институт” совместно с ИОА СО РАН разработывались методики оценки концентраций и потоков углекислого газа в атмосфере с использованием космических средств дистанционного зондирования [223].

В НИЦ “Планета” продолжалась разработка методов автоматической классификации данных сканирующих радиометров-имаджеров полярно-орбитальных и геостационарных метеоспутников серии NOAA, “Метеор-М”, Meteosat, “Электро-Л” (аппаратура AVHRR, SEVIRI, МСУ-МР, МСУ-ГС) для определения параметров облачности и осадков. Разработаны, апробированы и введены в эксплуатацию системы обработки данных AVHRR/NOAA, SEVIRI/Meteosat-9 для получения оценок параметров облачности и осадков регионального покрытия (для территории Европы, ЕТР). Выполнены работы по валидации спутниковых оценок облачного покрова [224–226].

Разработан новый метод дистанционного определения температуры поверхности суши (ТПС) и излучательной способности поверхности (ИСП) по данным аппаратуры SEVIRI геостационарного спутника Meteosat-9. Измеренные с помощью SEVIRI в условиях отсутствия облачности радиационные температуры в каналах расщепленного окна № 9 (10.8 мкм) и № 10 (12.0 мкм) за три последовательных срока используются для получения оценок ТПС и ИСП с помощью комбинации метода “расщепленного окна прозрачности” и “метода двух температур”. Метод испы-

тан в экспериментах с реальными измерениями SEVIRI. Проведена валидация спутниковых оценок ТПС путем сравнения с независимыми данными – оценками ТПС, получаемыми LSA SAF (Прикладной спутниковый центр анализа данных о земной поверхности – Лиссабон, Португалия), и с наблюдениями ТПС in-situ для летнего периода 2009 г. в темное время суток (48 станций на территории Центрально-Черноземных областей России) [227, 228].

Продолжались исследования по использованию данных дистанционного зондирования о характеристиках подстилающей поверхности при моделировании составляющих водного и теплового балансов для речного водосбора. С этой целью разработаны и усовершенствованы методы и алгоритмы тематической обработки информации радиометров AVHRR/NOAA, MODIS/Terra, Aqua для оценки температуры и излучательной способности почвы, температуры воздуха у поверхности растительного покрова, нормализованного индекса вегетации, листового индекса и проективного покрытия растительностью. Кроме того, разработана версия модели вертикального тепло- и влагопереноса в системе “почва–растительность–атмосфера” (SVAT), рассчитанная на использование спутниковых данных о состоянии подстилающей поверхности и ряда метеорологических характеристик. С помощью модели SVAT для сезонов вегетации 2003–2009 гг. проведены расчеты суммарного испарения, потоков скрытого и явного тепла, влаго- и теплоемкости почвы и других составляющих водного и теплового балансов [229–231].

Выполнен цикл работ по исследованию возможностей ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения. Оценены перспективы дистанционного температурно-влажностного зондирования атмосферы [232]. Ряд работ посвящен дистанционному определению средне-тропосферной концентрации диоксида углерода  $X_{CO_2}$  и общего содержания метана  $Q_{CH_4}$  в атмосфере на основе данных спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения AIRS (EOS/AQUA), (MetOp) IASI. Разработана и апробирована путем сравнения с самолетными наблюдениями усовершенствованная схема определения  $X_{CO_2}$  по данным AIRS. Подобная методология применена для восстановления “мгновенных” значений  $X_{CO_2}$  по данным IASI (в условиях отсутствия облачности). Сравнение спутниковых оценок с квазисинхронными самолетными наблюдениями дает величину погрешности порядка 2.2 млн<sup>-1</sup>. Для восстановления  $Q_{CH_4}$  по данным IASI был создан итерационный физический алгоритм, использующий 4CH<sub>4</sub>-чувствительных канала. Валидация спутниковых оценок  $Q_{CH_4}$  вы-



полнена путем сравнения с пространственно-совмещенными и квазисинхронными оценками  $Q_{\text{CH}_4}$  по данным AIRS. Величины стандартного отклонения между обоими типами оценок (усредненными по ячейкам  $2 \times 2$  градуса) не превосходят 3% [233, 234].

В Нансен-центре продолжают интенсивные исследования по разработке методик использования спутниковых данных для мониторинга подстилающей поверхности [235]. Проведена совместная обработка данных скаттерометра и пассивных микроволновых наблюдений, что позволило проследить изменения многолетних льдов в Арктике. Выполнена идентификация морских льдов Северного Ледовитого океана по данным радиолокатора с синтезированной апертурой [236]. Изучается взаимодействие атмосферы и океана – разработан новый перспективный подход для синергетического анализа радиолокационных и оптических снимков, проведено исследование прибрежного апвеллинга на основе спутниковых радиолокационных снимков [237], изучаются полярные циклоны с помощью спутникового микроволнового зондирования [238]. Проводятся исследования водных экосистем и их реакции на глобальные изменения [239–241].

В НПО “Тайфун” развит метод определения динамических характеристик атмосферы по данным зондирования с геостационарных метеорологических спутников, позволяющий, в отличие от применяемых за рубежом, определять не только поле вектора скорости ветра, но также коэффициент мезомасштабной турбулентной диффузии и завихренность на одном масштабе движения воздушной массы. По данным прибора SEVIRI (геостационарные европейские метеорологические спутники Meteosat-8 и Meteosat-9) исследованы поля динамических характеристик в областях опасных атмосферных явлений – струйных течений и тропических циклонов [242].

В УрГУ с использованием методики нейронных сетей разработан метод восстановления содержания метана в атмосфере по данным сенсора AIRS на спутнике AQUA. По спектрам сенсора AIRS выявлены сезонные вариации содержания метана в атмосфере Западной Сибири и сделана оценка вклада природной эмиссии метана из болотной экосистемы [243]. Предложен метод определения расхода попутного газа на факелах по данным спутникового зондирования сенсорами типа MODIS в ИК-каналах [244]. Исследованы возможности метода нейронных сетей для решения обратной задачи по определению вертикального профиля концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере из спектральных данных сенсора TANSO-FTS на спутнике GOSAT (Greenhouse gases Observing SATellite) [245].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Budak V.P., Veklenko B.A. Bosen peak, flickering noise, backscattering processes and radiative transfer in random media // J.Q.S.R.T. 2011, doi: 10.1016/j.jqsrt.2010.10.007.
2. Prokhorov I.V. On the Structure of the Continuity Set of the Solution to a Boundary-Value Problem for the Radiation Transfer Equation // Math. Notes. 2009. V. 86. № 1–2. P. 234–248.
3. Budak V.P., Korkin S.V. On the solution of a vectorial radiative transfer equation in an arbitrary three-dimensional turbid medium with anisotropic scattering // J.Q.S.R.T. 2008. V. 109. P. 220–234.
4. Budak V.P., Korkin S.V. The spatial polarization distribution over the dome of the sky for abnormal irradiance of the atmosphere // J.Q.S.R.T. 2008. V. 109. P. 1347–1362.
5. Sokoletsky L.G., Nikolaeva O.V., Budak V.P. et al. A comparison of numerical and analytical radiative transfer solutions for plane albedo of natural waters // J.Q.S.R.T. 2009. V. 110. № 13. P. 1132–1146.
6. Kokhanovsky A.A., Budak V.P., Cornet C. et al. Benchmark results in vector atmospheric radiative transfer // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 12–13. P. 1931–1946.
7. Budak V.P., Klyuykov D.A., Korkin S.V. Complete matrix solution of radiative transfer equation for PILE of horizontally homogeneous slabs // J.Q.S.R.T. 2011. V. 112. № 7. P. 1141–1148.
8. Budak V.P., Korkin S.V. The aerosol influence upon the polarization state of the atmosphere solar radiation // Int. J. Rem. Sens. 2008. V. 29. № 9. P. 2469–2506.
9. Budak V.P., Korkin S.V. Space-angle distribution of the reflected charged particles adjusted for spin calculation // Rad. Effects and Defects in Solid. 2008. V. 163. P. 761–765.
10. Веретенников В.В. Метод последовательного разложения в теории лидарного зондирования плотных сред // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 11. С. 980–985.
11. Креков Г.М., Крекова М.М., Лисенко А.А. и др. Статистическое моделирование трансспектральных процессов при лазерном зондировании окружающей среды. 3. Реабсорбция ЛИФ // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 12. С. 1076–1082.
12. Пригарин С.М., Боровой А.Г., Гришин И.А. и др. Статистическое моделирование переноса излучения в оптически анизотропных кристаллических облаках // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 3. С. 205–210.
13. Чеснокова Т.Ю., Фирсов К.М., Воронина Ю.В. Применение рядов экспонент при моделировании широкополосных потоков солнечного излучения в атмосфере Земли // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 9. С. 799–804.
14. Богданова Ю.В., Родимова О.Б. О термодинамических зависимостях коэффициентов разложения радиационных характеристик в ряды экспонент // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 04. С. 283–287.
15. Журавлева Т.Б. Моделирование переноса солнечного излучения в различных атмосферных условиях. Часть 1: Детерминированная атмосфера; Часть 2: Стохастическая облачность // Оптика ат-

- мосферы и океана. 2008. Т. 21. № 2. С. 99–114; № 3. С. 189–202.
16. *Творогов С.Д., Родимова О.Б.* Расчет функций пропускания при малых давлениях // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 11. С. 915–921.
  17. *Белов В.В., Тарасенков М.В.* Статистическое моделирование интенсивности световых потоков, отраженных сферической земной поверхностью // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 1. С. 14–20.
  18. *Журавлева Т.Б., Кохановский А.А.* Влияние горизонтальной неоднородности на альbedo и поглощательную способность снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2010. № 09. С. 17–25.
  19. *Tvorogov S.D., Zhuravleva T.B., Rodimova O.B. et al.* 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. Chichester: Springer/Praxis, 2008. Chapter 9. P. 211–240.
  20. *Веретенников В.В.* Совместное определение микроструктуры и показателя преломления аэрозоля по данным солнечной фотометрии // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 3. С. 214–221.
  21. *Чеснокова Т.Ю., Воронина Ю.В.* Влияние качества спектроскопической информации на моделирование нисходящих потоков солнечного излучения в УФ-диапазоне // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 7. С. 577–581.
  22. *Фирсов К.М., Чеснокова Т.Ю.* Чувствительность нисходящих длинноволновых потоков радиации к континуальному поглощению паров воды // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 8. С. 650–655.
  23. *Горчакова И.А., Членова Г.В., Вигасин А.А.* Об учете континуального поглощения водяного пара в расчетах потоков теплового излучения // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 546–551.
  24. *Chesnokova T.Yu., Voronin B.A., Bykov A.D. et al.* Calculation of solar radiation atmospheric absorption with different H<sub>2</sub>O spectral line data banks // J. Mol. Spec. 2009. V. 256. № 1. P. 41–44.
  25. *Nikolaeva O.V., Bass L.P., Kuznetsov V.S. et al.* A new 1D approximation for the solution of 2D radiative transfer problems // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. P. 634–642.
  26. *Nikolaeva O.V., Bass L.P., Germogenova T.A. et al.* Radiative transfer in horizontally and vertically inhomogeneous atmospheres: numerical techniques // Light scattering reviews. V. 2. Berlin: Springer, 2007. P. 295–347.
  27. *Nikolaeva O.V., Bass L.P., Germogenova T.A. et al.* Algorithms to calculation of radiative fields from localized sources via the Code Raduga-5.1(P) // T.T.S.P. 2007. V. 36. № 4–6. P. 439–474.
  28. *Басс Л.П., Гермогенова Т.А., Николаева О.В. и др.* Численное моделирование краевых эффектов в оптике аэрозоля и облаков // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 2. С. 201–206.
  29. *Sokoletsky L.G., Budak V.P., Bass L.P. et al.* A comparison of numerical and analytical radiative-transfer solutions for plane albedo in natural waters // J.Q.S.R.T. 2009. V. 110. № 13. P. 1057–1206.
  30. *Nikolaeva O.V., Bass L.P., Kuznetsov V.S. et al.* Radiation balance in a cloudy atmosphere with account for the 3D effects // Atm. Res. 2010. V. 98. № 1. P. 1–8.
  31. *Bass L.P., Nikolaeva O.V., Kuznetsov V.S. et al.* Parallel algorithms for simulation of ultrashort pulse propagation in turbid media // Nuovo Cimento. 2010. V. 33C. № 1. P. 39–46.
  32. *Янковский В.А., Кулешова В.А., Мануйлова Р.О. и др.* Восстановление содержания озона в мезосфере на основе новой модели электронно-колебательной кинетики продуктов фотолиза O<sub>3</sub> и O<sub>2</sub> // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2007. Т. 43. № 4. С. 557–569.
  33. *Янковский В.А., Бабаев А.С.* Фотолиз O<sub>3</sub> в полосах Хартли, Хаггинса, Шаппюи и Вульфа в средней атмосфере: колебательная кинетика молекул кислорода O<sub>2</sub>(X<sup>3</sup>Σ<sub>g</sub><sup>-</sup>, v ≤ 35) // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 8. С. 640–649.
  34. *Кулешова В.А., Янковский В.А.* Модель электронно-колебательной кинетики фотолиза O<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> в средней атмосфере Земли: анализ чувствительности // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 7. С. 599–609.
  35. *Feofilov A.G., Kutepov A.A., Garcia-Comas M. et al.* Daytime SABER/TIMED observations of water vapor in the mesosphere: retrieval approach and first results // Atm. Chem. & Physics. 2009. V. 9. № 21. P. 8139–8158.
  36. *Огибалов В.П.* Перенос излучения в полосах CO<sub>2</sub> в ближнем инфракрасном диапазоне при учете поглощения излучения в континууме аэрозольными частицами в атмосфере Марса // Вестн. СПбГУ. Сер. 4. 2008. Вып. 3. С. 27–36.
  37. *Огибалов В.П.* Использование транспортного приближения для учета рассеяния излучения аэрозольными частицами в задаче неравновесных эмиссий в инфракрасных полосах CO<sub>2</sub> в атмосфере Марса // Вестн. СПбГУ. Сер. 4. 2009. Вып. 4. С. 38–48.
  38. *Lyulin O.M., Perevalov V.I., Mandin J.-Y. et al.* Line intensities of acetylene: Measurements in the 2.5-μm spectral region and global modeling in the Δp = 4 and 6 series // J.Q.S.R.T. 2007. V. 103. P. 496–523.
  39. *Lyulin O.M., Jacquemart D., Lacome N. et al.* Line parameters of acetylene in the 1.9 and 1.7 μm spectral regions // J.Q.S.R.T. 2008. V. 109. P. 1856–1874.
  40. *Lyulin O.M., Jacquemart D., Lacome N. et al.* Line parameters of <sup>15</sup>N<sub>2</sub><sup>16</sup>O from Fourier transform measurements in the 5800–7600 cm<sup>-1</sup> region and global fitting of line positions from 1000 to 7600 cm<sup>-1</sup> // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 3. P. 345–356.
  41. *Mikhailenko S., Barbe A., De Backer-Barilly M.-R. et al.* Update of line parameters of ozone in the 2590–2900 cm<sup>-1</sup> region // Applied Optics. 2008. V. 47. P. 4612–4618.
  42. *Mikhailenko S.N., Keppler A.K.A., Mellau G. et al.* Water vapor absorption line intensities in the 1900–6600 cm<sup>-1</sup> region // J.Q.S.R.T. 2008. V. 109. P. 2687–2696.
  43. *Nikitin A.V., Mikhailenko S.N., Morino I. et al.* Isotopic substitution shifts in methane and vibrational band assignment in the 5560–6200 cm<sup>-1</sup> region // J.Q.S.R.T. 2009. V. 110. № 12. P. 964–973.
  44. *Lavrentieva N.N., Petrova T.M., Solodov A.M. et al.* Measurements of N<sub>2</sub>-broadening and -shifting para-

- meters of the water vapor spectral lines in the second hexad region // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 15. P. 2291–2297.
45. *Perevalov B.V., Campargue A., Gao B. et al.* New CW-CRDS measurements and global modeling of  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$  absolute line intensities in the 1.6  $\mu\text{m}$  region // J. Mol. Spectrosc. 2008. V. 252. № 2. P. 190–197.
  46. *Perevalov V.I., Tashkun S.A., Song K.F. et al.* Global modeling of  $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{17}\text{O}$  and  $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{18}\text{O}$  absolute line intensities in the 1.35  $\mu\text{m}$  region // J. Mol. Spectrosc. 2010. V. 263. № 2. P. 183–185.
  47. *Plashnik I.V., Smith K.M.* Water vapour line intensities and self-broadening coefficients in the 5000–5600  $\text{cm}^{-1}$  spectral region // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 10. P. 1317–1327.
  48. *Tashkun S.A., Perevalov V.I., Kochanov R.V. et al.* Global fitting of  $^{14}\text{N}^{15}\text{N}^{16}\text{O}$  and  $^{15}\text{N}^{14}\text{N}^{16}\text{O}$  vibrational-rotational line positions using the effective Hamiltonian approach // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 9. P. 1089–1105.
  49. *Tashkun S.A., Velichko T.I., Mikhailenko S.N.* Critical evaluation of measured rotation–vibration line positions and an experimental dataset of energy levels of  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$  in the  $X^1\Sigma^+$  state // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 9. P. 1106–1116.
  50. *Перевалов В.И., Ташкун С.А., Тютерева В.Г. и др.* Глобальное моделирование спектров высокого разрешения молекул атмосферных газов // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 5. С. 398–407.
  51. *Творогов С.Д., Гордов Е.П., Родимова О.Б.* Межмолекулярные взаимодействия и молекулярная спектроскопия: от полуклассического представления к крыльям линий // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 9. С. 760–763.
  52. *Perevalov B.V., Kassi S., Romanini D. et al.* Global effective Hamiltonians of  $^{16}\text{O}^{13}\text{C}^{17}\text{O}$  and  $^{16}\text{O}^{13}\text{C}^{18}\text{O}$  improved from CW–CRDS observations in the 5900–7000  $\text{cm}^{-1}$  region // J. Mol. Spect. 2007. V. 241. P. 90–100.
  53. *Perevalov B.V., Deleporte T., Liu A.W. et al.* Global modeling of  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$  absolute line intensities from CW–CRDS and FTS measurements in the 1.6 and 2.0  $\mu\text{m}$  regions // J.Q.S.R.T. 2008. V. 109. P. 2009–2026.
  54. *Perevalov B.V., Perevalov V.I., Campargue A.* A (nearly) complete experimental linelist for  $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$ ,  $^{16}\text{O}^{13}\text{C}^{18}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}^{18}\text{O}_2$  and  $^{17}\text{O}^{13}\text{C}^{18}\text{O}$  by high-sensitivity CW–CRDS spectroscopy between 5851 and 7045  $\text{cm}^{-1}$  // J.Q.S.R.T. 2008. V. 109. P. 2437–2462.
  55. *Ni H.-Y., Song K.-F., Perevalov V.I. et al.* Fourier-transform spectroscopy of  $^{14}\text{N}^{15}\text{N}^{16}\text{O}$  in the 3800–9000  $\text{cm}^{-1}$  region and global modeling of its absorption spectrum // J. Mol. Spect. 2008. V. 248. № 1. P. 41–60.
  56. *Wang L., Perevalov V.I., Tashkun S.A. et al.* Fourier transform spectroscopy of  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$  and  $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{18}\text{O}$  in the 3800–8500  $\text{cm}^{-1}$  region and the global modeling of the absorption spectrum of  $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$  // J. Mol. Spect. 2008. V. 247. № 1. P. 64–75.
  57. *Nikitin A.V., Holka F., Tyuterev V.I. et al.* Vibrational energy levels of the  $\text{PH}_3$ ,  $\text{PH}_2\text{D}$ , and  $\text{PHD}_2$  molecules calculated from high order potential energy surface // J. Chem. Phys. 2009. V. 130. № 24. P. 244–312.
  58. *Bykov A.D., Naumenko O.V., Polovtseva E.R. et al.* Fourier transform absorption spectrum of  $\text{D}_2^{16}\text{O}$  in 7360–8440  $\text{cm}^{-1}$  region // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 15. P. 2197–2210.
  59. *Ni H.-Y., Liu A.-W., Song K.-F. et al.* High-resolution spectroscopy of the triple-substituted isotopologue of water  $\text{D}_2^{18}\text{O}$ : the first triad // Mol. Physics. 2008. V. 106. P. 1793–1801.
  60. *Mikhailenko S.N., Tashkun S.A., Putilova T.A. et al.* Critical evaluation of rotation–vibration transitions and an experimental dataset of energy levels of  $\text{HD}^{18}\text{O}$  // J.Q.S.R.T. 2009. V. 110. № 9–10. P. 597–608.
  61. *Mikhailenko S.N., Tashkun S.A., Daumont L. et al.* Line positions and energy levels of the  $^{18}\text{O}$  substitutions from the  $\text{HDO}/\text{D}_2\text{O}$  spectra between 5600 and 8800  $\text{cm}^{-1}$  // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 15. P. 2185–2196.
  62. *Naumenko O.V., Beguier S., Leshchishina O. et al.* ICLAS of  $\text{HDO}$  between 13020 and 14115  $\text{cm}^{-1}$  // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. P. 36–44.
  63. *Liu A., Naumenko O.V., Kassi S. et al.* High sensitivity CW–CRDS of  $^{18}\text{O}$  enriched water near 1.6  $\mu\text{m}$  // J.Q.S.R.T. 2009. V. 110. P. 1781–1800.
  64. *Rothman L.S., Gordon I.E., Barbe A. et al.* The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database // J.Q.S.R.T. 2009. V. 110. № 9–10. P. 533–572.
  65. *Tennyson J., Bernath P.F., Brown L.R. et al.* IUPAC Critical Evaluation of the Rotational-Vibrational Spectra of Water Vapor. Part I. Energy Levels and Transition Wavenumbers for  $\text{H}_2^{17}\text{O}$  and  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  // J.Q.S.R.T. 2009. V. 110. P. 573–596.
  66. *Tennyson J., Bernath P.F., Brown L.R. et al.* IUPAC Critical Evaluation of the Rotational-Vibrational Spectra of Water Vapor. Part II. Energy Levels and Transition Wavenumbers for  $\text{HDO}$  // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. P. 2160–2184.
  67. *Voronin B.A., Naumenko O.V., Carleer M. et al.*  $\text{HDO}$  absorption spectrum above 11 500  $\text{cm}^{-1}$ : Assignment and dynamics // J. Mol. Spect. 2007. V. 244. P. 87–101.
  68. *Voronin B.A., Tennyson J., Tolchenov R.N. et al.* A high accuracy computed line list for the  $\text{HDO}$  molecule // MN-09-1651-MJ.R1. Mon. Not. Royal Astr. Soc. 2010. V. 402. P. 492–496.
  69. *Shirin S.V., Ovsyannikov R.I., Zobov N.F. et al.* Water line lists close to experimental accuracy using a spectroscopically determined potential energy surfaces for  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{17}\text{O}$  and  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  // J. Chem. Phys. 2008. V. 128. P. 224306 1–10.
  70. *Yurchenko S.N., Voronin B.A., Tolchenov R.N. et al.* Potential energy surface of  $\text{HDO}$  up to 25000  $\text{cm}^{-1}$  // J. Chem. Phys. 2008. V. 128. № 4. 044312.
  71. *Bykov A.D., Lavrentieva N.N., Mishina T.P. et al.* Water vapor line width and shift calculations with accurate vibration–rotation wave functions // J.Q.S.R.T. 2008. V. 109. P. 1834–1844.
  72. *Быков А.Д., Лаврентьева Н.Н., Петрова Т.М. и др.* Сдвиг центров линий поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  в области 1.06 мкм // Оптика и спектроскопия. 2008. Т. 105. № 1. С. 25–31.
  73. *Быков А.Д., Лаврентьева Н.Н., Мишина Т.П. и др.* Влияние интерференции линий водяного пара на атмосферное пропускание излучения ближнего

- ИК-диапазона // Оптика и спектроскопия. 2008. Т. 104. № 2. С. 165–171.
74. Hodges J.T., Lisak D., Lavrentieva N. et al. Comparison between theoretical calculations and high resolution measurements of pressure broadening for near-infrared water spectra // J. Mol. Spectr. 2008. V. 249. P. 86–94.
  75. Lavrentieva N., Osipova A., Sinitsa L. et al. Shifting temperature dependence of nitrogen-broadened lines in the  $\nu_2$  band of  $\text{H}_2\text{O}$  // Mol. Physics. 2008. V. 106. P. 1261–1266.
  76. Лаврентьева Н.Н., Мишина Т.П., Сеница Л.Н. и др. Расчеты самоуширения и самосдвига спектральных линий водяного пара с использованием точных колебательно-вращательных волновых функций // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 12. С. 1096–1100.
  77. Jacquinet-Husson N., Scott N.A., Chédin A. et al. The GEISA spectroscopic database: Current and future archive for Earth and planetary atmosphere studies // J.Q.S.R.T. 2008. V. 109. P. 1043–1059.
  78. Perevalov B.V., Kass S., Perevalov V.I. et al. High sensitivity CW-CRDS spectroscopy of  $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ ,  $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{17}\text{O}$  and  $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{18}\text{O}$  between 5851 and 7045  $\text{cm}^{-1}$ : Line positions analysis and critical review of the current databases // J. Mol. Spectr. 2008. V. 252. № 2. P. 143–159.
  79. Nikitin A.V., Lyulin O.M., Mikhailenko S.N. et al. GOSAT-2009 methane spectral line list in the 5550–6236  $\text{cm}^{-1}$  region // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 15. P. 2211–2224.
  80. Rothman L.S., Gordon I.E., Barber R.J. et al. HITRAN, the high-temperature molecular spectroscopic database // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 15. P. 2139–2150.
  81. Nikiforova O.Yu., Kapitanov V.A., Ponomarev Yu.N. Influence of ethylene spectral lines on methane concentration measurements with a diode laser methane sensor in the 1.65  $\mu\text{m}$  region // Appl. Phys. B. 2008. V. 90. № 2. P. 263–268.
  82. Kapitanov V.A., Tyryshkin I.S., Krivolutskii N.P. et al. Spatial distribution of methane over Lake Baikal surface // Spectrochimica Acta Part A. 2007. V. 66. № 4–5. P. 788–795.
  83. Kapitanov V.A., Ponomarev Yu.N., Tyryshkin I.S. et al. Two-channel opto-acoustic diode laser spectrometer and fine structure of methane absorption spectra in 6070–6180  $\text{cm}^{-1}$  region // Spectrochimica Acta Part A. 2007. V. 66. № 4–5. P. 811–818.
  84. Kapitanov V.A., Ponomarev Yu.N. High resolution ethylene absorption spectrum between 6035  $\text{cm}^{-1}$  and 6210  $\text{cm}^{-1}$  // Appl. Phys. B. 2008. V. 90. № 2. P. 235–241.
  85. Gonzalez M.A. Loroño, Boudon V., Loete M. et al. High-resolution spectroscopy and preliminary global analysis of C–H stretching vibrations of  $\text{C}_2\text{H}_4$  in the 3000 and 6000  $\text{cm}^{-1}$  regions // J.Q.S.R.T. 2010. V. 111. № 15. P. 2265–2278.
  86. Ulenikov O.N., Onopenko G.A., Bekhtereva E.S. et al. High resolution study of the  $\nu_5 + \nu_{12}$  band of  $\text{C}_2\text{H}_4$  // Mol. Physics. 2010. V. 108. № 5. P. 637–647.
  87. Kapitanov V.A., Solodov A.M., Petrova T.M. et al. Fourier Transform and Photo-Acoustic absorption spectra of ethylene within 6035–6210  $\text{cm}^{-1}$ . Comparative measurements // Int. Journ. Spectr. 2010. ID 203672. doi:10.1155/2010/203672.
  88. Abakumova G.M., Gorbarenko E.V., Nezval' E.I. et al. Fifty years of actinometrical measurements in Moscow // Int. J. Rem. Sens. 2008. V. M.29. № 9. P. 2629–2665.
  89. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В. Прозрачность атмосферы в Москве за последние 50 лет и ее изменения на территории России. М.: ЛКИ, 2008. 192 с.
  90. Ohvri H., Teral H., Neiman L. et al. Variability of atmospheric column transparency in the Baltic region, 1906–2006 // J. Geoph. Res. 2009. V. 114. D00D12, doi: 10.1029/2008JD010644.
  91. Сакерин С.М., Горбаренко Е.В., Кабанов Д.М. Особенности многолетней изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы и оценки влияния различных факторов // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 7. С. 625–631.
  92. Chubarova N.E. UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model // Atm. Chem. Phys. 2008. № 8. P. 3025–3031.
  93. Chubarova N.Y., Prilepsky N.G., Rublev A.N. et al. A Mega-Fire Event in Central Russia: Fire Weather, Radiative, and Optical Properties of the Atmosphere, and Consequences for Subboreal Forest Plants // Developments in Environmental Science, V. 8 / Eds: A. Bytnerowicz, M. Arbaugh, A. Riebau et al. Amsterdam: Elsevier B.V. 2009. P. 249–267.
  94. Chubarova N.Y. Seasonal distribution of aerosol properties over Europe and their impact on UV irradiance // Atmos. Meas. Tech. 2009. № 2. P. 593–608, www.atmos-meas-tech.net/2/593/2009/.
  95. Chubarova N.Ye., Sviridenkov M.A., Smirnov A. et al. Assessments of urban aerosol pollution in Moscow and its radiative effects // Atmos. Meas. Tech. 2010. № 3. P. 5469–5498, www.atmos-meas-tech-discuss.net/3/5469/2010/ doi:10.5194/amtd-3-5469-2010.
  96. Скляднева Т.К., Белан Б.Д. Радиационный режим в районе Томска за 1995–2005 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 1. С. 62–67.
  97. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Скляднева Т.К. Вариации ультрафиолетовой (Б) радиации в Томске в 2003–2007 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 7. С. 619–624.
  98. Скляднева Т.К., Журавлева Т.Б. Повторяемость основных форм облачности над г. Томском: данные наземных наблюдений 1993–2004 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 1. С. 65–68.
  99. Панченко М.В., Свириденков М.А., Емиленко А.С. и др. Сопоставление оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в локальном объеме и на протяженной трассе // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 6. С. 491–496.
  100. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. О взаимосвязях параметров формулы Ангстрема и аэрозольной оптической толщи атмосферы в области спектра 1–4 мкм // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 3. С. 222–228.
  101. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Спектральная зависимость аэрозольной оптической толщи атмосферы в области спектра 0.34–4 мкм // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 2. С. 156–164.

102. Зуев В.В., Баженов О.Е., Бурлаков В.Д. и др. Долгосрочные тренды, сезонные и аномальные кратковременные изменения фонового стратосферного аэрозоля // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 1. С. 42–47.
103. Сакерин С.М., Горбаренко Е.В., Кабанов Д.М. Особенности многолетней изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы и оценки влияния различных факторов // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 7. С. 625–631.
104. Сакерин С.М., Береснев С.А., Горда С.Ю. и др. Характеристики годового хода спектральной аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 566–574.
105. Сакерин С.М., Павлов А.Н., Букин О.А. и др. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне материк–океан (Приморье и Японское море). Часть 1. Вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы и вертикальные профили // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 8. С. 691–699.
106. Афонин С.В., Энгель М.В., Майор А.Ю. и др. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне материк–океан (Приморье и Японское море). Часть 2. Анализ пространственной и временной изменчивости характеристик аэрозоля по спутниковым данным и лидарным измерениям // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 9. С. 811–819.
107. Smirnov A., Holben B.N., Slutsker I. et al. Maritime Aerosol Network as a component of Aerosol Robotic Network // J. Geoph. Res. 2009. V. 114. D06204. doi:10.1029/2008JD011257.
108. Smirnov A., Holben B.N., Giles D.M. et al. Maritime Aerosol Network as a component of AERONET – first results and comparison with global aerosol models and satellite retrievals // Atmos. Meas. Tech. Discuss. 2011. № 4. P. 1–32, doi:10.5194/amtd-4-1-20, www.atmos-meas-tech-discuss.net/4/1/2011/.
109. Рублев А.Н., Горчакова И.А., Удалова Т.А. Влияние крупных частиц на оценки оптических и радиационных характеристик пылевого аэрозоля // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 2. С. 1–11.
110. Исаков А.А., Елохов А.С., Лезина Е.А. Синхронные вариации массовой концентрации приземного аэрозоля, окислов азота и озона в Подмоскowie // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 541–545.
111. Исаков А.А., Тихонов А.В. О сопоставлении осредненных направлений прихода в Подмоскowie воздушных масс со средними величинами параметра Хенела и показателя преломления вещества частиц // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 1. С. 9–13.
112. Горчаков Г.И., Аношин Б.А., Семутникова Е.Г. Статистический анализ вариаций массовой концентрации грубодисперсного аэрозоля в г. Москве // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 6. С. 501–505.
113. Емиленко А.С., Копейкин В.М. Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 535–540.
114. Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сибир Е.Е. Специфика многолетней изменчивости суммарной солнечной радиации и характеристик прозрачности атмосферы в полярных областях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. Вып. 76. С. 131–136.
115. Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сибир Е.Е. Радиационный режим и многолетняя изменчивость суммарной радиации на станциях Баренцева моря // Труды ААНИИ. 2009. Т. 450. С. 81–90.
116. Tomasi C., Vitale V., Lupi A. et al. Aerosols in polar regions: A historical overview based on optical depth and in situ observations // J. Geoph. Res. D. 2007. V. 112, d16205. 28 PP. doi:10.1029/2007JD008432.
117. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Радионов В.Ф. и др. О результатах исследований аэрозольной оптической толщины атмосферы во время кругосветной экспедиции вокруг Антарктиды (53 РАЭ) // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 12. С. 1032–1037.
118. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Козлов В.С. и др. Результаты исследований характеристик аэрозоля в 52-й РАЭ // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. Вып. 77. С. 65–75.
119. Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М. и др. Моделирование прямого радиационного форсинга аэрозоля для типичных летних условий Сибири. Часть 1: метод расчета и выбор входных параметров // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 2. С. 163–172.
120. Журавлева Т.Б., Сакерин С.М. Моделирование прямого радиационного форсинга аэрозоля для типичных летних условий Сибири. Часть 2: Диапазон изменчивости и чувствительность к входным параметрам // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 2. С. 173–182.
121. Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М. О дневной изменчивости аэрозольной оптической толщи атмосферы и радиационного форсинга аэрозоля // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 8. С. 700–709.
122. Сакерин С.М., Веретенников В.В., Журавлева Т.Б. и др. Сравнительный анализ радиационных характеристик аэрозоля в ситуациях дымов пожаров и обычных условиях // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 6. С. 451–461.
123. Зуев В.В., Баженов О.Е., Бурлаков В.Д. и др. О влиянии вулканогенного аэрозоля на изменения стратосферного озона и NO<sub>2</sub> по данным измерений на Сибирской лидарной станции // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 11. С. 945–951.
124. Кароль И.Л., Фролькис В.А., Киселев А.А. Радиационный и термический режимы атмосферы и климатическая система: индексы внешнего воздействия и их оценка // Труды ГГО. 2009. Вып. 560. С. 33–50.
125. Karol I.L., Frolikis V.A., Kiselev A.A. Radiative and thermal regime of the atmosphere and the climate system: external forcing indices (metrics) and their evaluation / IPCC Expert Meeting on the Science of alternative metrics / Eds: G.-K. Plattner, T. Stocker, P. Midgley et al. Bern: University of Bern, 2009. P. 37–38.

126. *Фролькис В.А., Кароль И.Л.* Моделирование влияния параметров стратосферного аэрозольного экрана на эффективность компенсации парникового потепления глобального климата // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 8. С. 710–722.
127. *Мелешко В.П., Катцов В.М., Кароль И.Л.* Является ли рассеяние аэрозоля в стратосфере безопасной технологией предотвращения глобального потепления? // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 7. С. 5–17.
128. *Захаров В.И., Грибанов К.Г., Береснев С.А.* Роль газовых и аэрозольных компонент атмосферы в модели парникового взрыва // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22. № 3. С. 1–11.
129. *Zakharov V.I.* Regarding Greenhouse Explosion / In: *Global Climatology and Ecodynamics – Anthropogenic changes to Planet Earth* / Eds: A. Cracknell, V. Krapivin, C. Varotsos. Chichester: Springer/PRAXIS, 2008. Chapter 6. P. 107–132.
130. *Захаров В.И., Имасу Р., Грибанов К.Г. и др.* Баланс свободной энергии на верхней границе атмосферы // *Оптика атмосферы и океана*. 2008. Т. 21. № 3. С. 240–247.
131. *Кадыгров Е.Н., Колдаев А.В., Миллер Е.А. и др.* Исследование неоднородности острова тепла в г. Нижний Новгород с помощью мобильного дистанционного измерителя профилей температуры атмосферы // *Метеорология и гидрология*. 2007. № 2. С. 54–66.
132. *Кадыгров Е.Н.* Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя – метод, аппаратура, результаты измерений // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22. № 7. С. 697–704.
133. *Миллер Е.А., Воробьева Е.А., Кадыгров Е.Н.* Анализ межсезонных и межгодовых особенностей температурной стратификации городского острова тепла // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22. № 7. С. 552–557.
134. *Гладких В.А., Макиенко А.Э., Миллер Е.А. и др.* Исследование параметров пограничного слоя атмосферы в городских условиях с помощью средств локальной и дистанционной диагностики. Часть 1. Межуровневые корреляции скорости ветра; Часть 2. Температура воздуха и поток тепла // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 11. С. 978–986; 987–994.
135. *Воробьева Е.А., Шапошников А.Н., Фоломеев В.В. и др.* Результаты измерений термической стратификации атмосферного пограничного слоя в каньонах и котловинах Гуамского хребта // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 6. С. 505–509.
136. *Горчаков Г.И., Кадыгров Е.Н., Исаков А.А. и др.* Влияние солнечного затмения на термическую стратификацию и режим турбулентности // *ДАН*. 2007. Т. 417. № 1. С. 90–93.
137. *Горчаков Г.И., Кадыгров Е.Н., Картунова З.В. и др.* Затменные эффекты в пограничном слое атмосферы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2008. Т. 44. № 1. С. 104–111.
138. *Горчаков Г.И., Кадыгров Е.Н., Исаков А.А. и др.* Влияние солнечного затмения на процессы в пограничном слое атмосферы // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 5. С. 341–346.
139. *Соломонов С.В., Игнатьев А.Н., Кропоткина Е.П. и др.* Спектральная аппаратура для мониторинга атмосферного озона на миллиметровых волнах // *Приборы и техника эксперимента*. 2009. № 2. С. 138–144.
140. *Звягинцев А.М., Беликов И.Б., Еланский Н.Ф. и др.* Статистическое моделирование максимальных суточных концентраций приземного озона // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 2. С. 127–135.
141. *Тимова Е.А., Кароль И.Л., Шаламянский А.М. и др.* Статистический анализ и сравнение эффектов внешних факторов, влияющих на поле общего содержания озона над территорией России в 1973–2007 гг. // *Метеорология и гидрология*. 2009. № 7. С. 48–64.
142. *Белан Б.Д.* Тропосферный озон. 3. Содержание озона в тропосфере. Механизмы и факторы, его определяющие // *Оптика атмосферы и океана*. 2008. Т. 21. № 7. С. 600–618.
143. *Белан Б.Д.* Тропосферный озон. 6. Компоненты озоновых циклов // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22. № 4. С. 358–380.
144. *Белан Б.Д.* Тропосферный озон. 7. Стоки озона в тропосфере // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 2. С. 108–126.
145. *Белан Б.Д., Толмачев Г.Н., Фофанов А.В.* Вертикальное распределение озона в тропосфере над югом Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 9. С. 777–783.
146. *Белоглазов М.И., Демкин В.М., Красильников А.А. и др.* Микроволновые измерения содержания озона в зимней стратосфере Арктики // *Геоматематика и аэрономия*. 2010. Т. 50. № 2. С. 265–272.
147. *Куликов Ю.Ю., Красильников А.А., Демкин В.М. и др.* Вариации концентрации мезосферного озона во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года по данным микроволновой радиометрии // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2008. Т. 44. № 4. С. 522–526.
148. *Русина Е.Н., Генрихович Е.Л.* Метод анализа данных об общем содержании озона при наблюдениях на движущихся платформах // *Труды ГГО*. 2010. Вып. 562. С. 61–75.
149. *Макарова М.В., Поберовский А.В., Вишератин К.Н. и др.* Временная изменчивость общего содержания метана в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2009. Т. 45. № 6. С. 1–8.
150. *Макарова М.В., Косцов В.С., Поберовский А.В.* Исследование факторов, определяющих аномальную изменчивость общего содержания окиси углерода в районе Санкт-Петербурга // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2007. Т. 43. № 4. С. 538–546.
151. *Поберовский А.В.* Наземные измерения ИК-спектров солнечного излучения с высоким спектральным разрешением // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 1. С. 56–58.
152. *Поберовский А.В., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.* Измерения общего содержания фтористого водорода в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2010. Т. 46. № 2. С. 286–288.
153. *Поберовский А.В., Макарова М.В., Ракитин А.В. и др.* Изменчивость общих содержаний климатически активных газов по наземным спектроскопическим измерениям с высоким разрешением // *ДАН*. 2010. Т. 432. № 2. С. 257–259.

154. *Виротайнен Я.А., Тимофеев Ю.М.* Определение элементов вертикальной структуры содержания озона из наземных измерений солнечного излучения с высоким спектральным разрешением // Исслед. Земли из космоса. 2008. № 3. С. 3–10.
155. *Виротайнен Я.А., Тимофеев Ю.М.* Комплексный метод определения вертикальных профилей содержания озона для валидации спутниковых измерений // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 4. С. 61–66.
156. *Виротайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Ионов Д.В. и др.* Наземные измерения общего содержания озона ИК-методом // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 4. С. 521–532.
157. *Поберовский А.В., Шашкин А.В., Ионов Д.В. и др.* Вариации содержания  $\text{NO}_2$  в районе Санкт-Петербурга по наземным и спутниковым измерениям рассеянного солнечного излучения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 4. С. 547–556.
158. *Макарова М.В., Поберовский А.В., Осипов С.И.* Временная изменчивость общего содержания СО в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 6. С. 801–808.
159. *Макарова М.В., Ракитин А.В., Ионов Д.В. и др.* Анализ изменчивости содержания  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_3$  в тропосфере вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 4. С. 508–520.
160. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др.* Пространственная и временная изменчивость концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в приземном слое воздуха на территории Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 2. С. 183–192.
161. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др.* Вертикальное распределение парниковых газов над Западной Сибирью по данным многолетних измерений // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 5. С. 457–464.
162. *Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А. и др.* Экспериментальные исследования процессов газообмена  $\text{CO}_2$  в системе “атмосфера–водная поверхность” оз. Байкал (постановка эксперимента) // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 5. С. 448–452.
163. *Сакирко М.В., Панченко М.В., Домышева В.М. и др.* Суточные ритмы концентрации диоксида углерода в приводном слое воздуха и в поверхностной воде оз. Байкал в разные гидрологические сезоны // Метеорология и гидрология. 2008. № 2. С. 79–86.
164. *Сакирко М.В., Домышева В.М., Бельх О.И. и др.* К оценке пространственной изменчивости направления потоков углекислого газа в разные гидрологические сезоны на оз. Байкал // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 6. С. 596–600.
165. *Домышева В.М., Сакирко М.В., Пестунов Д.А. и др.* Сезонный ход процесса газообмена  $\text{CO}_2$  в системе “атмосфера–вода” в литорали южного Байкала. 1. Гидрологическая весна // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 12. С. 1067–1074.
166. *Домышева В.М., Сакирко М.В., Пестунов Д.А. и др.* Экспериментальная оценка стока углекислого газа в системе атмосфера–вода в литорали и пелагиали озера Байкал // ДАН. 2010. Т. 431. Вып. 6. С. 822–826.
167. *Кашин Ф.В., Радионов В.Ф., Гречко Е.И.* Вариации общего содержания окиси углерода и метана в антарктической атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 4. С. 531–537.
168. *Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сибир Е.Е. и др.* Особенности общего содержания озона в северной и южной полярных областях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. Вып. 75. С. 64–72.
169. *Кашин Ф.В., Арефьев В.Н., Каменогородский Н.Е. и др.* Содержание углекислого газа в толще атмосферы центральной части Евразии (Станция мониторинга “Иссык-Куль”) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 4. С. 521–530.
170. *Кашин Ф.В., Арефьев В.Н., Семенов В.К. и др.* Структура временных вариаций углекислого газа в толще атмосферы Центральной части Евразии (Станция мониторинга “Иссык-Куль”) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 1. С. 94–103.
171. *Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Красносельцев А.В. и др.* Структура временных вариаций прозрачности атмосферы Центральной части Евразии (Станция мониторинга “Иссык-Куль”) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 5. С. 663–669.
172. *Арефьев В.Н., Кашин Ф.В., Семенов В.К. и др.* Вариации двуокиси азота в атмосфере центральной части Евразии (Станция мониторинга “Иссык-Куль”) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45. № 5. С. 617–624.
173. *Кашин Ф.В., Акименко Р.М., Арефьев В.Н. и др.* Окись углерода в приземном воздухе (Станция мониторинга Обнинск) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 1. С. 45–55.
174. *Rublev A.N., Trotsenko A.N., Udalova T.A. et al.* Determination of  $\text{NO}_2$  in the surface layer of the atmosphere. RRC Kurchatov Institute. Preprint IAE-6506/16. 2008. 52 P.
175. *Захаров В.И., Благодарева М., Грибанов К.Г.* Метод дистанционного зондирования отношения  $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$  в атмосфере по инфракрасным спектрам пропускания высокого разрешения // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 5. С. 393–396.
176. *Грибанов К.Г., Захаров В.И., Береснев С.А. и др.* Зондирование  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  в атмосфере Урала методом наземных измерений ИК-спектров солнечного излучения с высоким спектральным разрешением // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 2. С. 124–127.
177. *Топтыгин А.Ю., Грибанов К.Г., Захаров В.И. и др.* Определение вертикального профиля  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  из спектров пропускания атмосферы высокого разрешения // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20. № 3. С. 247–252.
178. *Левин И.М., Копелевич О.В.* Корреляционные соотношения между первичными гидрооптическими характеристиками в области спектра около 550 нм // Океанология. 2007. Т. 47. № 3. С. 344–348.
179. *Левин И.М.* Перспективные направления развития оптических дистанционных методов исследования океана // Фундаментальная и прикладная гидрофизика / Под ред. А.А. Родионова. СПб.: Наука, 2008. № 1. С. 14–47.
180. *Левин И.М., Долин Л.С., Французов О.Н. и др.* Глубинные профили гидрофизических параметров в Баренцевом море применительно к проблеме ли-

- дарного зондирования // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика* / Под ред. А.А. Родионова. СПб.: Наука, 2009. № 4(6). С. 16–24.
181. Долина И.С., Родионов М.А., Левин И.М. Восстановление характеристик гидрофизических полей в море из результатов гидрооптических измерений // *Морской вестник*. 2010. № 4. С. 62–64.
  182. Савченко В.В., Осадчий В.Ю., Левин И.М. Коррекция изображений подводных объектов, искаженных поверхностным волнением // *Океанология*. 2008. Т. 48. № 5. С. 28–31.
  183. Levin I., Savchenko V., Osadchy V. Correction of an image distorted by a wavy water surface: laboratory experiment // *Applied Optics*. 2008. V. 47. № 35. P. 6650–6655.
  184. Левин И.М., Долин Л.С., Радомысльская Т.М. Дальность видимости крупных подводных объектов при визуальном наблюдении из воздуха через взволнованную поверхность моря // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика* / Под ред. А.А. Родионова. СПб.: Наука, 2009. № 1(3). С. 4–15.
  185. Алёшин И.В., Гончаров В.К., Левин И.М. и др. Современные дистанционные методы изучения экологического состояния морской среды в ледовых условиях // *Морской вестник*. 2008. № 2(26). С. 69–74.
  186. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П. и др. Портативный солнечный фотометр // *Приборы и техника эксперимента*. 2009. № 2. С. 181–182.
  187. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П. и др. Солнечный фотометр SP-9 для аэрозольного мониторинга // *Приборы и техника эксперимента*. 2010. № 5. С. 165–166.
  188. Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В. и др. Информационная система для сетевых солнечных фотометров // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22. № 1. С. 61–67.
  189. Зуев В.В., Булаков В.Д., Долгий С.И. и др. Лидар дифференциального поглощения для зондирования озона в верхней тропосфере–нижней стратосфере // *Оптика атмосферы и океана*. 2008. Т. 21. № 10. С. 880–883.
  190. Соломатникова А.А. Расчет общего содержания озона при автоматизированных измерениях по свету от зенита ясного и облачного неба // *Труды ГГО*. 2009. Вып. 560. С. 255–267.
  191. Елисеев А.А., Привалов В.И. О характеристиках радиационного переноса тепла в приземном слое атмосферы по результатам прямых измерений // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2007. Т. 43. № 5. С. 1–6.
  192. Елисеев А.А., Румянцев Д.В., Фролькис В.А. К обоснованию возможности прямого измерения радиационного притока тепла в атмосфере // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22. № 3. С. 359–364.
  193. Игнатьев А.Н., Гайкович К.П., Кропоткина Е.П. и др. Моделирование расчетов содержания окиси хлора в атмосфере по данным наземных наблюдений на миллиметровых волнах // *Радиотехника и электроника*. 2007. Т. 52. № 5. С. 538–544.
  194. Красильников А.А., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г. и др. Новый малогабаритный микроволновый спектрорадиометр–озонметр // *Приборы и техника эксперимента*. 2011. № 1. С. 127–133.
  195. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Успенский А.Б. Температурно-влажностное зондирование атмосферы по данным спутникового ИК-зондировщика высокого спектрального разрешения ИКФС-2 // *Исслед. Земли из космоса*. 2009. № 5. С. 3–10.
  196. Виролайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В. и др. Оптимизация параметризации спектров уходящего теплового излучения на примере данных спутникового ИК-зондировщика ИКФС-2 // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 2. С. 143–148.
  197. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Успенский А.Б. Возможности определения содержания озона и малых газовых составляющих по данным спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения (ИКФС-2) // *Исслед. Земли из космоса*. 2010. № 3. С. 3–11.
  198. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Успенский А.Б. Возможности определения температуры и излучательной способности поверхности суши по данным спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения (ИКФС-2) // *Исслед. Земли из космоса*. 2010. № 4. С. 85–90.
  199. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М. О точности определения общего содержания озона с помощью аппаратуры SEVIRI на геостационарном спутнике Meteosat-8 // *Исслед. Земли из космоса*. 2007. № 2. С. 3–9.
  200. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М. Определение общего содержания озона с геостационарных спутников Земли // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2008. Т. 44. № 6. С. 448–458.
  201. Семакин С.Г., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М. Сравнения измеренных и рассчитанных функций пропускания в А-полосе кислорода при 0.76 мкм // *Исслед. Земли из космоса*. 2008. № 1. С. 37–43.
  202. Семакин С.Г., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В. и др. Потенциальные точности восстановления коэффициента рассеяния стратосферного аэрозоля по лимбовым измерениям рассеянного солнечного излучения // *Исслед. Земли из космоса*. 2009. № 4. С. 54–63.
  203. Семакин С.Г., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В. и др. Об определении микроструктуры стратосферного аэрозоля по измерениям рассеянного солнечного излучения горизонта Земли // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 3. С. 235–239.
  204. Семакин С.Г., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В. и др. Анализ погрешностей определения оптических характеристик стратосферного аэрозоля спутниковым методом лимбового рассеяния // *Исслед. Земли из космоса*. 2010. № 3. С. 71–76.
  205. Ракитин А.В., Косцов В.С., Поляков А.В. Учет нестационарности атмосферы при зондировании ее состава затменным методом // *Исслед. Земли из космоса*. 2008. № 2. С. 1–11.
  206. Виролайнен Я.А. Связь между оптическими параметрами аэрозоля в полосах молекулярного поглощения БИК области спектра // *Оптика атмосферы и океана*. 2008. Т. 21. № 3. С. 229–234.
  207. Косцов В.С., Поляков А.В., Ракитин А.В. и др. Результаты определения содержания NO<sub>2</sub> в стратосфере по данным эксперимента SAGE III // *Исслед. Земли из космоса*. 2008. № 5. С. 16–28.
  208. Чайка А.М., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В. Стратосферный аэрозоль по данным измерений аппаратуры SAGE III // *Исслед. Земли из космоса*. 2007. № 2. С. 10–18.



209. Чайка А.М., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В. Интегральные микрофизические параметры фонового стратосферного аэрозоля в 2002–2005 гг. (спутниковый эксперимент с аппаратурой SAGE III) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 2. С. 206–220.
210. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Виралайнен Я.А. Полярные стратосферные облака по данным спутниковых наблюдений прибора SAGE III // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 4. С. 483–493.
211. Поляков А.В., Рэндалл К., Харвей Л. и др. Новый усовершенствованный алгоритм интерпретации затменных измерений прибором SAGE III // Исслед. Земли из космоса. 2008. № 1. С. 31–36.
212. Ионов Д.В. Вертикальная структура многолетнего тренда стратосферного озона по данным спутниковых измерений над Южным регионом России // Исслед. Земли из космоса. 2009. № 4. С. 1–6.
213. Ионов Д.В., Тимофеев Ю.М. Региональный космический мониторинг содержания двуоксида азота в тропосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45. № 3. С. 1–11.
214. Hocke K., Kampfer N., Ruffieux D. et al. Comparison and synergy of stratospheric ozone measurements by satellite limb sounders and the ground-based microwave radiometer SOMORA // Atmos. Chem. Phys. 2007. № 7. P. 4117–4131.
215. Ionov D.V., Timofeyev Y.M., Sinyakov V.P. et al. Ground-based validation of EOS-Aura OMI NO<sub>2</sub> vertical column data in the midlatitude mountain ranges of Tien Shan (Kyrgyzstan) and Alps (France) // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. D15S08, doi:10.1029/2007JD008659.
216. Celarier E.A., Brinksma E.J., Gleason J.F. et al. Validation of Ozone Monitoring Instrument Nitrogen Dioxide Columns // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. D15S15, 23 P. doi:10.1029/2007JD008908.
217. Wetzel G., Bracher A., Funke B. et al. Validation of MIPAS-ENVISAT NO<sub>2</sub> operational data // Atmos. Chem. Phys. 2007. № 7. P. 3261–3284.
218. Hendrick F., Pommereau J.-P., Goutail F. et al. NDACC UV-visible total ozone measurements: improved retrieval and comparison with correlative satellite and ground-based observations // Atm. Chem. Phys. Discuss. 2010. № 10. P. 20405–20460, doi:10.5194/acpd-10-20405-2010.
219. Ситнов С.А. Анализ квазидвухлетней изменчивости общего содержания окиси углерода и ее связи с квазидвухлетней изменчивостью общего содержания озона // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44. № 4. С. 494–502.
220. Ситнов С.А. Анализ пространственно-временной изменчивости тропосферного содержания NO<sub>2</sub> над московским мегаполисом по данным спектрометра OMI (спутник Aura) // ДАН. 2009. Т. 429. № 4. С. 534–540.
221. Ситнов С.А. Анализ спутниковых наблюдений тропосферного содержания NO<sub>2</sub> над московским регионом // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 2. С. 184–203.
222. Ситнов С.А. Спутниковый мониторинг содержания газовых примесей атмосферы и оптических характеристик атмосферного аэрозоля над европейской территорией России в апреле–сентябре 2010 года // ДАН. 2011. Т. 437. № 1. С. 102–107.
223. Рублев А.Н., Григорьев Г.Ю., Удалова Т.А. и др. Регрессионные модели для оценки углеродного обмена в бореальных лесах // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 1. С. 21–26.
224. Волкова Е.В., Успенский А.Б. Детектирование облачности и определение ее параметров по спутниковым данным в светлое время суток // Метеорология и гидрология. 2007. № 12. С. 5–20.
225. Волкова Е.В., Успенский А.Б. Оценки параметров облачного покрова в светлое время суток по данным геостационарного метеоспутника METEOSAT-8 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 1. С. 441–450.
226. Волкова Е.В., Успенский А.Б. Сравнительный анализ оценок высоты верхней границы облачности по данным радиометра AVHRR МИСЗ NOAA и метеорологического радиолокатора // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 11. С. 104–110.
227. Соловьев В.И., Успенский С.А. Мониторинг температуры поверхности суши по данным геостационарных метеорологических спутников нового поколения // Исслед. Земли из космоса. 2009. № 3. С. 79–89.
228. Соловьев В.И., Успенский А.Б., Успенский С.А. Определение температуры земной поверхности по данным измерений уходящего теплового излучения с геостационарных метеорологических ИСЗ // Метеорология и гидрология. 2010. № 3. С. 5–17.
229. Музылев Е.Л., Успенский А.Б., Старцева З.П. и др. Определение характеристик подстилающей поверхности по данным радиометров AVHRR и MODIS и их использование в модели вертикального тепло- и влагопереноса для речного водосбора // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 1. С. 142–154.
230. Музылев Е.Л., Успенский А.Б., Старцева З.П. и др. Использование оценок температур подстилающей поверхности и характеристик растительности по спутниковой информации высокого разрешения при моделировании вертикального тепло- и влагообмена на речном водосборе // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 6. № 11. С. 400–410.
231. Музылев Е.Л., Успенский А.Б., Старцева З.П. и др. Моделирование составляющих водного и теплового балансов для речного водосбора с использованием спутниковых данных о характеристиках подстилающей поверхности // Метеорология и гидрология. 2010. № 3. С. 93–108.
232. Успенский А.Б. Современное состояние и перспективы дистанционного температурно-влажностного зондирования земной атмосферы // Исслед. Земли из космоса. 2010. № 2. С. 26–36.
233. Кухарский А.В., Успенский А.Б. Определение средней концентрации диоксида углерода в тропосфере по данным спутникового ИК-зондировщика высокого спектрального разрешения // Метеорология и гидрология. 2009. № 4. С. 15–28.
234. Кухарский А.В., Успенский А.Б. Мониторинг содержания диоксида углерода в тропосфере над бореальными экосистемами Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 4. С. 204–211.

235. *Melentyev V.V., Chernook V.* Multi-spectral airborne and satellite survey as component of the spatial information system for monitor and management of wildlife ecology // *Spatial Information Management in Wildlife Ecology* / Ed. F. Huettman. Tokyo: Springer, 2009. P. 324–356.
236. *Алексеев Г.В., Данилов Ф.И., Катцов В.М. и др.* Изменения площади морских льдов Северного полушария в XX и XXI веках по данным наблюдений и моделирования // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2009. Т. 45. № 6. С. 723–735.
237. *Kudryavtsev V.N., Makin V.K.* Model of the spume sea spray generation // *Geoph. Res. Let.* 2009. V. 36. L06801, doi:10.1029/2008GL036871.
238. *Mitnik L.M., Mitnik M.L., Zabolotskikh E.V.* Microwave sensing of the atmosphere-ocean system with ADEOS-II AMSR and Aqua AMSR-E // *J. Rem. Sens. Soc. Japan*. 2009. V. 29. № 1. P. 156–166.
239. *Коросов А.А., Морозов Е.А., Поздняков Д.В. и др.* Идентификация и картирование ареалов цветения кокколитофоров в Бискайском заливе по спутниковым данным // *Исслед. Земли из космоса*. 2009. № 3. С. 67–78.
240. *Поздняков Д.В., Коросов А.А., Петрова Н.А. и др.* Исследование «гистерезисного» характера вращения Ладожского озера из мезотрофного состояния // *Исслед. Земли из космоса*. 2009. № 1. С. 45–59.
241. *Korosov A.A., Pozdnyakov D.V., Folkestad A. et al.* Semi-empirical algorithm for the retrieval of ecology-relevant water constituents in various aquatic environments // *Algorithms*. 2009. V. 2. P. 470–497, doi: 10.3390/a2010470.
242. *Нерушев А.Ф., Крамчанинова Е.К., Соловьев В.И.* Определение характеристик атмосферных движений по данным многоволнового зондирования из космоса // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2007. Т. 43. № 4. С. 482–491.
243. *Грибанов К.Г., Имасу Р., Топтыгин А.Ю. и др.* Метод и результаты по определению метана в атмосфере Западной Сибири из данных сенсора AIRS // *Оптика атмосферы и океана*. 2007. Т. 20. № 10. С. 881–886.
244. *Грибанов К.Г., Захаров В.И., Алсынбаев К.С. и др.* Метод определения расхода попутного газа на факелах по данным спутникового зондирования сенсорами типа MODIS в ИК-каналах // *Оптика атмосферы и океана*. 2007. Т. 20. № 1. С. 68–72.
245. *Грибанов К.Г., Имасу Р., Захаров В.И.* Нейронные сети для определения высотных профилей CO<sub>2</sub> по данным GOSAT/TANSO-FTS // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22. № 9. С. 890–895.

## Russian Investigations in the Field of Atmospheric Radiation in 2007–2010

Yu. M. Timofeev and E. M. Shul'gina

*St. Petersburg State University, ul. Ul'yanovskaya 1, Petrodvorets, St. Petersburg, 198904 Russia*

*e-mail: shulgina@troll.phys.spbu.ru*

Received June 19, 2012

**Abstract**—A short survey prepared by the Russian Commission on Atmospheric Radiation contains the most significant results of works in the field of atmospheric-radiation studies performed in 2007–2010. It is part of the Russian National Report on Meteorology and Atmospheric Sciences prepared for the International Association on Meteorology and Atmospheric Sciences (IAMAS). During this period, the Russian Commission on Atmospheric Radiation, jointly with concerned departments and organizations, ran the conference “Physics and Education,” dedicated to the 75th anniversary of the Department of Physics at St. Petersburg State University (2007); the International Symposium of CIS Countries “Atmospheric Radiation and Dynamics” (2009); and the 5th International Conference “Atmospheric Physics, Climate, and Environment” (2010). At the conferences, central problems in modern atmosphere physics were discussed: radiative transfer and atmospheric optics; greenhouse gases, clouds, and aerosols; remote methods of measurements; and new measurement data. This survey presents five directions covering the whole spectrum of investigations performed in the field of atmospheric radiation.<sup>1</sup>

**Keywords:** atmospheric radiation, radiative transfer, atmospheric spectroscopy, radiation climatology, aerosol, remote sensing.

<sup>1</sup> The materials were presented by V.N. Aref'ev and A.F. Nerushev (NPO Taifun); L.P. Bass (Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of Sciences); L.P. Bobylev (Nansen Center); V.P. Budak (Moscow Power Engineering Institute); G.I. Gorchakov (Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences); T.B. Zhuravleva, S.M. Sakerin, M.V. Panchenko, and Yu.N. Ponomarev (Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences); V.I. Zakharov (Ural State University); I.L. Karol' and A.M. Shalamyanski (Main Geophysical Observatory); E.N. Kadygrov (Central Aerological Observatory); Yu.Yu. Kulikov (Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences); I.M. Levin (Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences); V.P. Ogibalov and V.A. Yankovskii (St. Petersburg State University); V.F. Radionov (Arctic and Antarctic Research Institute); S.B. Rozanov (Physical Institute, Russian Academy of Sciences); A.N. Rublev (Kurchatov Institute); A.B. Uspenskii (NPO Planeta); and N.E. Chubarova (Moscow State University).