

УДК 551.521

## РОССИЙСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ АТМОСФЕРНОЙ РАДИАЦИИ В 2011–2014 гг.

© 2016 г. Ю. М. Тимофеев\*, Е. М. Шульгина

Санкт-Петербургский государственный университет  
198504 Санкт-Петербург, Петергоф, Ульяновская ул., 1

\*E-mail: y.timofeev@spbu.ru

Поступила в редакцию 29.01.2016 г.

После доработки 24.02.2016 г.

Краткий обзор, подготовленный Российской комиссией по атмосферной радиации, содержит наиболее значимые результаты работ в области исследований атмосферной радиации, выполненных в 2011–2014 гг. Он является частью Национального отчета России по метеорологии и атмосферным наукам, подготовленного для Международной ассоциации по метеорологии и атмосферным наукам (IAMAS)<sup>1</sup>. За истекший период Российская комиссия по атмосферной радиации совместно с заинтересованными ведомствами и организациями провела два Международных симпозиума “Атмосферная радиация и динамика” (МСАРД-2011, МСАРД-2013). На симпозиумах обсуждались результаты исследований в области физики атмосферы – перенос излучения и атмосферная оптика, парниковые газы, облака и аэрозоли, дистанционные методы измерений, новые данные наблюдений. В настоящем обзоре представлены 6 направлений, охватывающих весь спектр исследований, проводимых в области атмосферной радиации в России<sup>2</sup>.

**Ключевые слова:** атмосферная оптика, дистанционные методы измерений, парниковые газы, динамика атмосферы, радиационная климатология.

**DOI:** 10.7868/S0002351516050126

### ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ

Исследования в этой области посвящены изучению процессов переноса излучения (ПИ) в различных средах и для различных геометрий измерений, развитию методов и алгоритмов для решения уравнения переноса излучения в приложении к задачам атмосферной оптики.

Различные методы теории переноса излучения интенсивно развиваются в Московском энергетическом институте (МЭИ). В работе [1] приведено обоснование уравнения переноса излучения (УПИ) с позиций статистической оптики. Существенным отличием метода статьи [1] является использование матричных функций Грина Кел-

дыша Л.В., что позволило получить более общие результаты при выводе кинетических уравнений в приближении геометрической оптики. В статье [2] получено решение дискретного УПИ для стратифицированного слоя с произвольными условиями на границе в аналитической матричной форме. Выделение анизотропной части решения УПИ в других геометриях и численное нахождение его гладкой части рассмотрено в работах [3–7]. В работе [8] получено обобщение малоугловой модификации метода сферических гармоник (MSG) для уточнения дисперсии путей рассеянных фотонов. Цикл работ [9, 10] посвящен сравнению различных алгоритмов решения УПИ для плоского слоя. Для повышения точности решения в работах [11, 12] рекомендуется использовать синтетические итерации, разработанные в теории переноса нейтронов. В работе [13] предложен алгоритм расчета светового поля в среде произвольной геометрии с учетом многократных переотражений от границ на основе двойной локальной оценки с разложением искомого углового распределения яркости по системе сферических функций, что позволяет устранить расходимость двойной локальной оценки. На основе сравнения с другими алгоритмами и натурными измерениями аналитическое решение дискретного УПИ для плоского слоя с

<sup>1</sup> Russian National Report. Meteorology and Atmospheric Sciences/ 2011–2014 / Eds: Mokhov I.I., Krivolusky A.A. National Geophysical Committee RAS. Moscow: MAX Press, 2015. 270 p.

<sup>2</sup> Материалы представлены Бассом Л.П. (ИПМ РАН); Будаком В.П. (МЭИ); Горчаковым Г.И., Горчаковой И.А., Ситновым С.А., Свириденковым М.А. (ИФА РАН); Журавлевой Т.Б., Переваловым В.И., Пономаревым Ю.Н., Сакериным С.М., Складневой Т.К., Терпуговой С.А. (ИОА СО РАН); Калдыгровым Е.Н. (ЦАО); Каролем И.Л. (ГГО); Нерушевым А.Ф. (НПО “Тайфун”); Радионовым В.Ф. (АНИИ); Рублевым А.Н. (РНЦ “Курчатовский институт”); Успенским А.Б. (НИЦ “Планета”); Черемисиним А.А. (Сибирский федеральный университет), Чубаровой Н.Е. (МГУ).

выделением анизотропной части на основе МСГ протестировано для предельного случая полубесконечной среды с альбедо однократного рассеяния, равным 1 [14]. Показано, что в этом случае для нахождения собственных значений системной матрицы необходимо использовать ее жорданову форму. В работе [15] проведено исследование влияния когерентного рассеяния на формирование светового поля в мутной среде.

Строгий подход, базирующийся на использовании тензорной функции Грина, к решению системы уравнений Максвелла для монохроматического поля в однородной одноосной среде рассмотрен в работе [16]. Приводится общее решение задачи, удовлетворяющее произвольно заданным граничным условиям. Различные модели экспоненциально коррелированных случайных полей, связанных с пуассоновскими точечными ансамблями, а также алгоритмы моделирования переноса излучения в стохастических средах такого типа рассматриваются в работе [17].

В ряде работ совершенствуются методики решения уравнения ПИ в приложении к задачам определения характеристик атмосферы, облаков, снежного покрова и морской поверхности. В работе [18] с помощью метода Монте-Карло рассмотрено влияние многократного рассеяния на поляризацию и угловое распределение излучения, отраженного от облаков. Полученные результаты позволяют разработать способы для анализа микрофизической структуры облаков. Методика восстановления вертикальной структуры облаков и аэрозоля по данным спутникового пассивного зондирования разработана авторами работы [19]. В ней представлены новые векторные версии для длинноволнового и коротковолнового диапазонов в модели переноса излучения FLBLM (Fast Line-by-Line Model), позволяющие вычислять параметры Стокса с любым спектральным разрешением. Изменение угловых характеристик отраженной радиации, альбедо и поглощательной способности снежного покрова, обусловленного наличием шероховатостей снега в виде заструг, проанализировано в работе [20]. Численное моделирование выполнено в рамках статистического подхода, основанного на аналитическом усреднении уравнения переноса излучения и статистически однородной модели на основе пуассоновских потоков точек на прямых. Влияние 3D-эффектов шероховатой поверхности снега на радиационные характеристики анализируется в зависимости от оптических и геометрических характеристик заструг и условий освещенности. Модели морской поверхности и суши, используемые при решении задач дистанционного зондирования, представлены в работах [21, 22].

## АТМОСФЕРНАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Основные направления 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.

Интенсивный анализ и теоретическое моделирование экспериментальных спектров  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$ ,  $O_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $C_2H_2$  молекул и их изотопических модификаций в различных спектральных диапазонах и при различных условиях проводятся в ИОА СО РАН совместно с иностранными специалистами. Эти исследования направлены на изучение спектроскопических параметров газов, особенностей спектров, полученных различными методами, и межмолекулярных взаимодействий. Результаты изложены, например, в работах [23–39] и дополнили базы данных и информационных систем новой и уточненной информацией об атмосферных газах [40–44]. В рамках проекта IUPAC “A database of water transitions from experiment and theory” совместно с учеными других стран проведена критическая экспертиза колебательно-вращательных спектров и переходов водяного пара [45–47].

Ряд исследований посвящен анализу влияния спектроскопических параметров на результаты атмосферного моделирования в приложении к задачам атмосферной оптики. Изучены основные спектроскопические факторы, вносящие неопределенность в вычисление атмосферного радиационного переноса в сильных полосах поглощения метана в ближнем ИК-диапазоне, которые используются для определения содержания метана в атмосфере. Оценены степень неопределенности параметров линий поглощения атмосферных газов в современных банках данных, а также влияние интерференции линий поглощения метана. Предложены способы повышения точности моделирования атмосферного пропускания. Определено общее содержание метана в атмосфере по наземным измерениям Фурье-спектрометром с высоким спектральным разрешением спектров прямого солнечного излучения. Показано, что результаты восстановления общего содержания  $CH_4$  в столбе атмосферы могут отличаться до 7% и более при использовании различных банков данных по параметрам линий поглощения метана [48, 49]. На основе лабораторных измерений спектров поглощения метана на оптико-акустическом и фотометрическом диодных лазерных спектрометрах определены параметры перекрывающихся линий поглощения мультиплетов R5 и R9 метана, уширенных азотом и неоном при давлениях уширяющих газов 0.005–0.5 атм. [50, 51].

Анализ лабораторных данных показал значительные отклонения формы контура линий от контура Фойгта, который часто применяется в атмосферном моделировании. Использование контура Раугиана–Собельмана позволило с погрешностью меньше 1% описать экспериментальные спектры. В работе [52] исследовано влияние различия в параметрах спектральных линий  $\text{CO}_2$  в спектроскопических базах данных HITRAN-2008 и CDSD на моделирование атмосферного пропускания и показано, что разница в пропускании может достигать 10% и более в сильных полосах поглощения  $\text{CO}_2$ .

## РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

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

Сделаны оценки влияния вариаций метеопараметров и различия в моделях континуального поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  на расчеты потоков солнечного и теплового излучения в атмосфере в условиях, реализующихся в различные сезоны в Западной Сибири [53–55] и в районе Нижнего Поволжья [56]. Проведен расчет потоков суммарной, прямой и диффузной солнечной радиации в диапазоне 0.2–5 мкм в безоблачной атмосфере для различных моделей континуального поглощения водяного пара при варьировании влагосодержания в столбе атмосферы, характерного для летних и зимних условий Западной Сибири. Показано, что модель континуального поглощения CAVIAR, основанная на новых экспериментальных данных, обуславливает более высокую чувствительность расчетных потоков солнечной радиации к общему содержанию водяного пара в атмосфере по сравнению с наиболее часто используемой моделью MT\_SKD. Это вызвано тем, что континуальное поглощение водяного пара в модели CAVIAR в среднем на порядок величины превышает предсказания модели MT\_SKD в окнах прозрачности ближнего ИК-диапазона [53, 54]. Для региона Нижнего Поволжья рассчитана регрессионная зависимость радиационного форсинга  $\text{CO}_2$  от величины общего влагосодержания. Исследована роль континуального поглощения  $\text{H}_2\text{O}$  и показано, что форсинг  $\text{CO}_2$  в значительной степени зависит от величины континуума. Определены атмосферные условия, когда вклад континуума  $\text{H}_2\text{O}$ , обусловленного взаимодействием молекул водяного пара с молекулами воздуха, в нисходящие потоки излучения является максимальным [56].

Сотрудники ИОА СО РАН в 2011–2014 гг. продолжали вести многолетние наблюдения за вели-

чинами суммарной и ультрафиолетовой радиации в Томске и Томской области, а также в отдельных районах Западной Сибири. На базе TOR-станции ( $56^\circ 28' \text{N}$ ,  $85^\circ 03' \text{E}$ ) ведутся систематические измерения суммарной солнечной радиации с апреля 1995 г., а интегральной интенсивности УФ–В-радиации с октября 2002 г. С 2004 г. ИОА СО РАН совместно с Национальным институтом исследования окружающей среды (Япония) проводит мониторинг суммарной солнечной радиации и различных атмосферных газов на измерительной сети, созданной на территории Западной Сибири. Осуществлен совместный анализ пространственно-временной изменчивости суммарной солнечной радиации на территории Западной Сибири за 2004–2011 гг. [57]. На основе многолетнего мониторинга исследованы радиационный режим в Томске и влияние города на приходящую УФ-радиацию [58, 59]. Авторы работы [60] проанализировали динамику уровней биологически активной УФ–В- и коротковолновой УФ–А-радиации в г. Томске во время озоновой аномалии весной 2011 г. и оценили изменчивость УФ радиации в зависимости от общего содержания озона.

В МГУ им. М.В. Ломоносова выполнен комплекс работ по исследованию УФ-радиации, проведены оценки влияния различных факторов на разные виды биологически активной радиации [61], разработаны методы, уточняющие поступление УФ-радиации в зимний период, выполнены пространственные оценки распределения УФ-радиации и УФ-ресурсов на территории России и Северной Евразии при различных условиях [62]. На основании усовершенствованных способов измерений и новой методики определения УФ-ресурсов охарактеризовано состояние УФ-ресурсов в Москве за период измерений с 1999 по 2013 гг. [63]. Выполнен комплекс работ по исследованию многолетних изменений эколого-климатических характеристик в Москве и, в частности, вариаций составляющих радиационного баланса, а также радиации в различных спектральных диапазонах за 60 лет наблюдений [64]. Оценены ресурсы солнечной радиации с учетом современных климатических изменений в Московском регионе [65]. Анализ многолетней изменчивости суммарной радиации (с 1955 по 2012 гг.) свидетельствует об увеличении гелиоэнергетических ресурсов в Москве и области в начале XXI века. Характер изменения суммарной радиации, наблюдаемой в Метеорологической обсерватории МГУ, соответствует мировым тенденциям [66]. Наибольшие изменения произошли с радиационным балансом – начиная с 1994 г., наблюдается резкий рост значений радиационного баланса, наибольшие его изменения отмечены в ночные часы зимних месяцев [67]. Главную роль в этом процессе имеет рост противоизлучения атмосферы [68].

## АЭРОЗОЛЬ И РАДИАЦИОННЫЙ ФОРСИНГ

Обширные лабораторные и наземные измерения параметров аэрозоля, моделирование и оценка его влияния на радиационные характеристики атмосферы осуществляются в ИОА СО РАН, СПбГУ, ИФА РАН, ГГО.

Систематические лабораторные исследования характеристик аэрозоля при их искусственном увлажнении (с 1998 г.) и оптических и радиационных свойств дымов ведутся в ИОА СО РАН [69, 70]. Обобщены результаты многолетних исследований конденсационной активности аэрозоля в г. Томске [71]. В СПбГУ создан анализатор гигроскопических свойств частиц, превосходящий по своим техническим характеристикам известные модели, основанные на измерении влажного диаметра частиц [72]. Разработана теоретическая модель гигроскопического роста многокомпонентных частиц, описывающая все этапы влажного роста частиц, включая поверхностную адсорбцию пара и их объемное растворение [73]. Получена новая информация о гигроскопических свойствах атмосферных частиц в Сибирском регионе [74].

В 2011–2013 гг. НИЦ “Планета” с привлечением сотрудников НИЦ “Курчатовский институт”, ИФА РАН и метеорологической обсерватории МГУ исследовал возможности и ограничения известной сети наблюдений AERONET для оценок оптических и микрофизических характеристик грубодисперсного аэрозоля. На основе математического моделирования в [75] получены количественные оценки влияния крупных пылевых частиц на точность восстановления оптических характеристик аэрозоля по наземным измерениям спектральных потоков прямого и рассеянного солнечного излучения. В работе [76] рассмотрена возможность уточнения прогноза распространения вулканического аэрозоля в атмосфере на основе привлечения данных наземных актиметрических измерений. Привязка рассчитанных прогнозных концентраций вулканического пепла от исландского вулкана Гримсвот (май 2011 г.) была осуществлена к результатам измерений аэрозольной оптической толщины в Гамбурге на одном из пунктов сети AERONET. Сопоставление скорректированных концентраций с измерениями других пунктов AERONET показало правомочность предложенного подхода. Оценены аэрозольные свойства атмосферы в Москве по данным AERONET. По результатам сравнений с измерениями в Подмоскowie выявлены эффекты аэрозольного загрязнения столицы, которые в среднем оказались невелики [77].

Регулярные исследования оптических и микрофизических характеристик аэрозоля проводятся в различных регионах планеты (побережье Северного Ледовитого океана, Приморье, Антарктика,

арх. Шпицберген). В ИОА СО РАН разработаны методологические основы, сформирован комплекс аппаратуры и проведен комплексный эксперимент по исследованию микрофизических, химических и оптических свойств аэрозольных частиц, оценке вклада атмосферного аэрозоля в радиационный баланс планеты [78, 79]. Экспедиционные исследования характеристик аэрозоля в морских и высокоширотных регионах планеты (побережье Северного Ледовитого океана, Приморье, Антарктика, арх. Шпицберген, Атлантика) проводятся регулярно сотрудниками ИОА СО РАН и ААНИИ. Определены широтная зависимость характеристик аэрозоля и ее межгодовой тренд в Атлантическом океане [80]; оценены сезонная и межгодовая изменчивость параметров на архипелаге Шпицберген [81] и в северном и южном полярных регионах после 2000 г. [82]. Проанализированы результаты измерений оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля над Российской антарктической внутриконтинентальной станцией Восток [83] и Каспийским морем [84]. Изучены итоги одновременных измерений массовых концентраций аэрозоля и сажи, счетной концентрации и распределения частиц по размерам в приземном слое атмосферы в районе г. Владивостока и в приполюсном слое в акватории Японского и Охотского морей [85]. Исследованы особенности пространственно-временной изменчивости микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля, а также вариации микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля в приземном слое в переходной зоне “материк–океан” [86].

Многочисленные исследования были посвящены изучению аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы в различных регионах земного шара. В 2014 г. издана монография [87], в которой обобщены результаты комплексных исследований атмосферного аэрозоля в азиатской части России. Изучаются закономерности пространственно-временной изменчивости АОТ атмосферы в азиатской части России [88–91] и в морских и полярных районах [92, 93]. Аналогичные исследования проводятся также и в рамках международных программ [94, 95].

В ряде работ выполнено исследование термических эффектов и радиационного форсинга дымового аэрозоля во время пожаров. Исследованы параметры и радиационные эффекты дымового аэрозоля в период экстремальных условий лесных и торфяных пожаров летом 2010 г. в московском регионе [96–98]. Предложена аппроксимация аэрозольного форсинга на нижней границе атмосферы [99]. Кроме того, проведен сравнительный анализ эффектов дымового аэрозоля на солнечную радиацию в нескольких диапазонах спектра в 1972, 2002 и 2010 гг. в Москве. Показано, что наиболее сильно радиация ослаблялась в

2010 г. [100]. В ИОА СО РАН в июне–августе 2012 г. проведен комплексный эксперимент по изучению динамики оптико-микрофизических характеристик субмикронного аэрозоля в приземном слое воздуха в условиях вторжения в регион экстремально плотной дымовой мглы обширных Сибирских лесных пожаров. Выявлены особенности различий оптических и микрофизических характеристик приземного аэрозоля в дымовой мгле лесных пожаров по сравнению с условиями незадымленной атмосферы [101, 102].

Разрабатываются и совершенствуются методы дистанционного определения параметров аэрозоля и модели для параметризации его характеристик. В работах [103, 104] предложен и протестирован новый метод восстановления оптических и микрофизических характеристик аэрозоля по данным спектральных наземных измерений АОТ и рассеянной солнечной радиации в альмукантате Солнца (SSMART). Усовершенствованная версия метода [105] протестирована в условиях умеренного и сильного аэрозольного замутнения атмосферы для условий Томска и Дакара [106, 107]. Показано, что аэрозольные характеристики, восстановленные с использованием пакета SSMART, согласуются с данными, представленными на сайте сети AERONET, в пределах погрешностей методов. На основании данных многолетнего самолетного зондирования вертикальных профилей коэффициентов направленного рассеяния, дисперсного состава атмосферного аэрозоля, а также содержания поглощающих частиц разработана обобщенная эмпирическая модель оптических характеристик аэрозоля в нижнем 5-километровом слое атмосферы Западной Сибири [108, 109]. Для восстановления коэффициентов аэрозольного ослабления излучения в видимом и ближнем ИК-диапазонах длин волн на протяженной приземной трассе по небольшому числу параметров, полученных в локальном объеме воздуха, разработана двухпараметрическая модель [110].

Наряду с исследованиями, оценивающими радиационный форсинг аэрозоля и других антропогенных факторов, формирующих изменения радиационного режима, изучается и их влияние на изменения климата. В обзоре [111] обсуждается современное состояние исследований содержания ряда атмосферных составляющих (парниковых газов и аэрозолей), источники и механизмы разрушения этих веществ в атмосфере, приводятся оценки их содержания, эмиссии в атмосферу и воздействия на климат планеты. Индексы факторов, формирующих разномасштабные изменения климата, оценки скорости их изменений и вклада в ожидаемые скорости изменения климатических характеристик в отдельных случаях и масштабах анализируются в работах [112, 113]. Некоторые факторы, влияющие на формирование климата Арктики, рассмотрены в работе [114]. Приведены

модельные оценки вклада в потепление от изменений температуры поверхности океана и площади морского льда для двух периодов 1980–1989 и 2002–2011 гг., а также сезонные изменения меридионального переноса энергии в высокие широты Северного полушария. Проведено исследование влияния распределения по размерам и структуры частиц стратосферного сернокислого аэрозоля на его оптические параметры и радиационный форсинг [115].

Продолжаются исследования фотофоретического взаимодействия аэрозольных частиц, находящихся в разреженной атмосфере Земли и освещенных солнечным светом. Детальное теоретическое исследование этого эффекта проведено для условий вакуумных камер [116] и применительно к атмосферным условиям [117]. Теоретический анализ фотофоретического движения сажевых аэрозолей в поле коротковолнового солнечного излучения выполнен в работе [118]. Получила дальнейшее развитие гипотеза гравитофотофоретической поддержки аэрозольных слоев в средней атмосфере [119]. Лидарные наблюдения систематического появления аэрозольных слоев в верхней стратосфере и мезосфере на высотах 35–50 и 60–75 км над Камчаткой могут быть объяснены возникновением гравитофотофоретической силы, приводящей к левитации аэрозольных частиц на указанных высотах [120]. Идентифицирован перенос аэрозольных слоев вулканического происхождения [121] и полярных стратосферных облаков над Томском [122]; прослежен перенос аэрозоля, образовавшегося в стратосфере после падения Челябинского метеорита 15 февраля 2013 г. [123].

## ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ

Продолжаются наземные исследования содержания климатически важных газов с помощью ИК-спектроскопии прямого солнечного ИК-излучения (СПБГУ, УФУ, ЦАО, ИФА РАН, ИЭМ, ИОА СО РАН и т.д.).

Исследования на кафедре физики атмосферы СПБГУ с помощью наземных измерений спектров прямого солнечного ИК-излучения высоко-го спектрального разрешения позволили получить значительное количество новых данных об общих содержаниях ряда парниковых, озоноразрушающих и токсичных газов ( $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $C_2H_6$ , CFC-11,  $O_3$ ,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $HNO_3$ ,  $ClONO_2$ ,  $NO_2$ ) вблизи Санкт-Петербурга (Петергоф, 59.88° N, 29.83° E, 20 м над уровнем моря). Многие данные были получены впервые в России. Эти исследования были направлены: 1) на изучение временных вариаций и трендов климатически важных атмосферных газов [124–133]; 2)

на валидацию спутниковых измерений различными приборами [134–138]; 3) на сравнения наземных измерений содержаний климатически важных газов с результатами численного моделирования [139, 140]; 4) на получение новой информации об элементах вертикального распределения содержания озона [141, 142].

В СПбГУ начата обширная программа сопоставлений различных методов измерений содержания водяного пара – важнейшего парникового газа атмосферы Земли. Проведено сопоставление ИК-спектроскопического метода с данными микроволновых и радиозондовых измерений [143]. Продолжались исследования временных вариаций общих содержаний  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_3$  с помощью наземных измерений рассеянного в зените солнечного излучения в УФ и видимой областях спектра. Эти измерения использовались также для валидации различных спутниковых измерений [144–149]. Проведен анализ качества температурно-влажностного зондирования тропосферы с помощью радиометра RPG-NATPRO. Показано, что в условиях Санкт-Петербурга радиометр позволяет получить реальную информацию до высот 3–4 км в зависимости от сезона [150]. Начаты измерения оптических и микрофизических характеристик аэрозолей в рамках сети наблюдений AERONET. Продолжается совершенствование методик интерпретации дистанционных измерений [151, 152].

Сотрудники ИФА РАН продолжают комплексные измерения малых газовых компонент над Москвой, Звенигородской научной станцией (ЗНС) и средствами мобильной лаборатории в рамках эксперимента TROICA. Представлены результаты измерений общего содержания окиси углерода (CO) спектрометрами среднего разрешения в центре Москвы в период 2005–2008 гг., проведено их сопоставление с аналогичными данными, полученными в Москве в 1986–2005 гг. и Пекине в 1992–2007 гг. [153]. Проанализированы результаты многолетних наблюдений передвижной обсерваторией (эксперименты TROICA) концентрации озона и окислов азота в приземном воздухе вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали с 1995 по 2008 гг. [154]. Исследованы загрязнения атмосферы центра европейской территории России во время пожаров лета 2010 г. по результатам наземных (станции ИФА, МГУ и ЗНС) и спутниковых (MOPITT, AIRS спутников Terra и Aqua) измерений общего содержания и концентрации окиси углерода CO [155], а также увеличение концентрации химически активных газов  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$  по данным измерений московской станции ИФА РАН [156]. На основе современных представлений о процессах, формирующих глобальное поле метана в атмосфере Земли, рассмотрены климатические тренды и основные особенности формирования сезонных

вариаций и аномалий концентрации метана в приземном слое земной атмосферы. Проанализированы данные измерений приземной концентрации метана в Москве и на ряде станций наблюдений в Европе и Сибири в осенне-зимний период первой декады XXI века [157].

На Уральской атмосферной Фурье-станции, предназначенной для мониторинга различных газов в фоновой атмосфере и валидации спутниковых данных, с помощью измерений спектров солнечного излучения современным Фурье-спектрометром Bruker IFS-125M получены результаты восстановления относительного содержания молекул тяжелой воды в атмосфере Урала [158].

В ИПМ РАН им. М.В. Келдыша с 2011 г. разрабатываются алгоритмы гиперспектрального дистанционного зондирования характеристик атмосферы, подстилающей поверхности и облаков, реализуемые в пакете программ “АТМ-РФ” [159].

В 2011–2014 гг. сотрудниками ЦАО был разработан и изготовлен опытный образец наземного микроволнового многоканального комплекса для мониторинга термодинамических параметров атмосферы и проведена его опытная эксплуатация [160]. Комплекс позволяет осуществлять непрерывные измерения профилей температуры в диапазоне высот от поверхности Земли до 10 км (при безоблачной атмосфере) и до 2–4 км (при наличии облачности), а также непрерывные измерения общего содержания водяного пара в столбе атмосферы и водозапаса облаков. Комплекс также обеспечивает измерения профилей температуры атмосферного пограничного слоя практически в любых метеорологических условиях. С его помощью получены данные, в частности, о водозапасе оптически тонких облаков и дымки [161]. Совместно со специалистами Гидрометцентра продолжены исследования вертикальной структуры острова тепла над Москвой с помощью микроволновых температурных профиломеров МТР-5, установленных внутри мегаполиса и в пригороде [162]. Совместно со специалистами ИФА РАН, МГУ и ГПБУ “Мосэкомониторинг” проведен анализ уникальных данных об острове тепла и его вертикальном распределении над Москвой во время мощного блокирующего антициклона летом 2010 г. [163]. Совместно со специалистами Центра исследований окружающей среды и дистанционного зондирования атмосферы им. Ф. Нансена (Норвегия), Финского метеорологического института (Финляндия), ИФА РАН и ИПФ РАН в долине г. Берген (Норвегия) проведен эксперимент по исследованию влияния метеорологических условий и осадков на измерения микроволнового профиломера МТР-5 [164]. Обобщены и опубликованы данные об изменчивости вертикальной структуры атмосферного пограничного слоя во время солнечных затмений [165]. В насто-

ящее время вводится в эксплуатацию новое поколение доплеровских метеорологических радиолокаторов (ДМРЛ-С) и на их основе создается наблюдательная сеть, охватывающая практически всю территорию РФ [166]. При участии ЦАО создан самолет-метеолaborатория нового поколения ЯК-42Д “Росгидромет” для исследований и мониторинга окружающей среды. Он оснащен различными современными контактными и дистанционными приборами для исследования атмосферы и уже совершил ряд исследовательских полетов в арктические регионы РФ.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Исследования, посвященные развитию методов определения различных параметров атмосферы и подстилающей поверхности на основе анализа спутниковых данных, а также вопросам калибровки и валидации спутниковых измерений, составляют основную часть разработок в этом направлении.

В НИЦ “Планета” продолжились исследования по развитию методов интерпретации и использования данных отечественных полярно-орбитальных и геостационарных метеорологических спутников серий “Метеор-М”, “Электро-Л”, а также созданию оперативных технологий обработки спутниковых измерений и определения различных параметров атмосферы и подстилающей поверхности. Разработан новый метод оценки приповерхностной температуры воздуха регионального и глобального покрытия по данным микроволнового сканера/зондировщика МТВЗА-ГЯ, устанавливаемого на КА серии “Метеор-М” [167]. Рассмотрены вопросы валидации спутниковых данных температурно-влажностного зондирования атмосферы. Обсуждаются сравнительные характеристики современных спутниковых микроволновых радиометров (SSMIS, ATMS, AMSU, AMSR2, МТВЗА), предназначенных для получения информации о параметрах атмосферы и подстилающей поверхности. Изложены методические аспекты оперативного определения влагозапаса атмосферы, водозапаса облаков, профилей температуры и влажности атмосферы с помощью наземных микроволновых радиометров. Проанализированы результаты сравнения данных спутникового температурно-влажностного зондирования атмосферы с данными аэрологического и наземного микроволнового зондирования атмосферы [168]. В работе [169] дано описание бортового измерительного комплекса, состава выходных продуктов и наземного комплекса приема, обработки и распространения данных КА “Метеор-М” № 2 (запущен в июле 2014 г.). Выполнен анализ перспектив определения параметров атмосферы по данным гиперспектральных ИК-зонди-

ровщиков, в том числе аппаратуры ИКФС-2 КА “Метеор-М” № 2 [170]. Совместно с ИВМ и МГ СО РАН разработана быстрая радиационная модель, предназначенная для анализа и валидации данных ИК-зондировщика ИКФС-2. Модель протестирована и ее эффективность оценена. Проанализирована возможность построения радиационных моделей, использующих алгоритм метода Монте-Карло и пригодных для анализа и моделирования данных ИК-зондировщиков при наличии облачности в поле зрения прибора [171].

Для подготовки к интерпретации новых космических экспериментов на российском МИСЗ “Метеор-М” № 2 в СПбГУ были созданы алгоритмы и программы восстановления вертикальных профилей температуры, влажности, содержания озона, температуры океанов и суши, влажности облаков, приводного ветра. Проведены численные эксперименты по анализу точности определения указанных параметров с помощью спутниковой аппаратуры (Фурье-спектрометра ИКФС-2 и микроволнового спектрометра МТВЗА) с помощью различных методик решения обратных задач – множественной линейной регрессии, итерационного метода оптимального оценивания (статистической регуляризации) и искусственных нейронных сетей [172–174]. Совместно с НИЦ “Планета” выполнено численное моделирование технологии получения данных температурно-влажностного зондирования атмосферы по измерениям ИК- и микроволнового зондировщика КА “Метеор-М” [175].

Приведено описание бортового измерительного комплекса геостационарного метеоспутника “Электро-Л” № 1 и рассмотрены методические вопросы получения информационных продуктов по данным радиометра/имаджера МСУ-ГС [169]. Предложен и испытан на реальных спутниковых данных регрессионный метод определения общего содержания озона (ОСО) в атмосфере по информации МСУ-ГС КА “Электро-Л” № 1. Валидация оценок ОСО выполнена путем сопоставления с данными наземной озонметрической сети, а также с независимыми спутниковыми оценками ОСО по данным аппаратуры ОМІ [176]. В работе [177] приведено описание комплекса многозональной спутниковой съемки (КМСС) на КА “Метеор-М” № 1, итогов его трехлетней работы на орбите и путей совершенствования съемочной аппаратуры оперативного мониторинга.

Многие исследования посвящены восстановлению параметров атмосферы и подстилающей поверхности по данным измерений различных иностранных спутников и инструментов (SEVIRI/METEOSAT-9, AVHRR NOAA, MetOp, SSM/I, Terra, Aqua, etc.) или сравнению этих восстановленных результатов с данными независимых измерений. В работе [178] сопоставлены вертикальные

профили концентрации  $O_3$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  и  $CH_4$ , измеренные с помощью самолета-лаборатории Ту-134 “Оптик” и восстановленные по данным Фурье-спектрометра IASI, работающего на спутнике MetOp Европейского космического агентства. Усовершенствованная схема восстановления общего содержания  $CO_2$  и  $CO_4$  по данным AIRS и IASI и сравнение спутниковых оценок с квазисинхронными самолетными наблюдениями представлены в работе [179]. Содержание  $NO_2$  в тропосфере над московским регионом проанализировано за период 2004–2009 гг. по данным измерений OMI [180]. Возможности для диагностики долговременных вариаций в эмиссиях  $NO_x$  в мегаполисах исследованы в работе [181] с использованием данных спутниковых измерений и результатов моделирования. По данным спутниковых измерений инструментами MODIS, MOPITT, MLS, and OMI проанализированы изменения в аэрозольных оптических характеристиках, в содержании малых газовых компонентов ( $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_2O$ ,  $SO_2$ ) и водяного пара (ВП) во время длительного блокирующего антициклона и пожаров в европейской территории России (ЕТР) летом 2010 г. Наибольшее увеличение выявлено для АОТ и  $CO$  [182, 183]. Показано, что распределение над ЕТР общего содержания ВП в рассматриваемый период было аномальным, с избытком ВП на севере территории и его дефицитом на юге [184, 185]. Проведен сравнительный анализ двух крупномасштабных дымовых загрязнений, вызванных летними пожарами в ЕТР в 2010 г. и в западной Сибири в 2012 г., с использованием спутниковых измерений прибором MODIS и данных наземных наблюдений. Определены средние АОТ, радиационный форсинг на границах атмосферы и скорости радиационного нагревания задымленной атмосферы для обоих событий [186]. Предварительные результаты всестороннего исследования дымового загрязнения воздуха в московском регионе и результаты его наземного мониторинга изложены в работах [186–188]. Аналогичные исследования для ЕТР представлены в работах [189–191]. Выполнен сравнительный анализ вертикальных профилей температуры и влажности, полученных на основе спутниковых измерений MODIS, и тестовых данных радиозондов из архивов РАОВ. Результаты позволили изучить вопрос о применимости спутниковых метеоданных для проведения радиационных расчетов и решения задачи атмосферной коррекции спутниковых ИК-изображений земной поверхности [192]. Продолжена разработка методов и технологий автоматической классификации данных измерений сканирующих радиометров-имаджеров полярно-орбитальных метеоспутников для определения параметров облачности и осадков [193, 194]. На основе разработанного метода определения дина-

мических характеристик атмосферы по данным зондирования с геостационарных метеорологических спутников [195] исследована эволюция характеристик поля ветра (горизонтальной скорости ветра, коэффициента мезомасштабной турбулентной диффузии, завихренности) в зонах действия циклонов тропических и умеренных широт на разных стадиях их развития, включая трансформацию тропического циклона во внетропический [196]. Разработан метод определения характеристик осадков из фронтальных облачных систем [197] и автоматизированный метод определения характеристик струйных течений в атмосфере по данным зондирования с геостационарных метеорологических спутников, с помощью которого исследованы пространственное распределение струйных течений и внутрigoдовая изменчивость их характеристик в верхней тропосфере Северного и Южного полушарий [198]. Выполнен цикл работ по развитию методов спутниковой диагностики и прогнозирования летних шквалов и гроз [199–201].

Ряд работ посвящен результатам спутникового мониторинга нефтяных и неорганических загрязнений морей и озер [202–205], характеристик снежного и ледового покровов [206–208].

Продолжались совместные исследования ИВП РАН и НИЦ “Планета” 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 радиометра AVHRR/NOAA, MODIS/Terra, Aqua, SEVIRI/Meteosat для оценки температуры и излучательной способности почвы, температуры воздуха у поверхности растительного покрова, нормализованного индекса вегетации, листового индекса и проективного покрытия растительностью. Кроме того, усовершенствована модель 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 проведены расчеты водного режима территории обширного сельскохозяйственного региона. Результаты исследований по данной тематике отражены в работах [209, 210].

Обзор подготовлен при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-17-00096).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Budak V.P., Veklenko B.A. Boson peak, flickering noise, backscattering processes and radiative transfer in random media // J.Q.S.R.T. 2011. V. 112. P. 864–875.

2. *Budak V.P., Klyuykov D.A., Korkin S.V.* Complete matrix solution of radiative transfer equation for pile of horizontally slabs // *J.Q.S.R.T.* 2011. V. 112. P. 1141–1148.
3. *Ilyushin Ya.A., Budak V.P.* Narrow beams in scattering media: the advanced small-angle approximation // *J. Opt. Soc. Am. A.* 2011. V. 28. № 7. P. 1358–1363.
4. *Ilyushin Ya.A., Budak V.P.* Analysis of the propagation of the femtosecond laser pulse in the scattering medium // *Comp. Phys. Com.* 2011. V. 182. P. 940–945.
5. *Ilyushin Ya.A., Budak V.P.* Calculation of light fields of concentrated sources in turbid media with strongly anisotropic scattering // *Opt. Spectr.* 2011. V. 111. № 6. P. 853–858.
6. *Budak V.P., Ilyushin Ya.A.* Isolating the singularities of a brightness field in a turbid medium on the basis of small angle solutions of transfer theory // *Atm. Oceanic Opt.* 2011. V. 24. № 4. P. 326–334.
7. *Ilyushin Ya.A., Budak V.P.* Narrow-beam propagation in two-dimensional scattering medium // *J. Opt. Soc. Am. A.* 2011. V. 28. № 2. P. 76–81.
8. *Будак В.П., Илюшин Я.А.* Выделение особенностей поля яркости в мутной среде на основе малоугловых решений теории переноса // *Оптика атмосферы и океана.* 2011. Т. 24. № 2. С. 93–100.
9. *Будак В.П., Ефременко Д.С., Шагалов О.В.* Сравнительный анализ алгоритмов решения векторного уравнения переноса излучения по эффективности для плоского слоя мутной среды // *Оптика атмосферы и океана.* 2011. Т. 24. № 12. С. 1088–1098.
10. *Budak V.P., Efremenko D.S., Shagalov O.V.* Efficiency of algorithm for solution of vector radiative transfer equation in turbid medium slab // *J. Phys.: Conference Series.* 2012. V. 369. P. 012021–10.
11. *Budak V.P., Shagalov O.V.* Solution of the radiative transfer equation by eliminating the anisotropic part within the method of synthetic iteration // *AIP Conf. Proc.* 2013. V. 1531. P. 91–94.
12. *Будак В.П., Ефременко Д.С., Шагалов О.В.* Математическое моделирование сигналов оптико-электронной системы дистанционного зондирования из космоса при наличии разорванной облачности // *Изв. вузов. Сер. Физика.* 2012. Т. 55. № 9/2. С. 148–149.
13. *Будак В.П., Желтов В.С., Калакуцкий Т.К.* Локальные оценки метода Монте-Карло в решении уравнения глобального освещения с учетом спектрального представления объектов // *Компьютерные исследования и моделирование.* 2012. Т. 4. № 1. С. 75–84.
14. *Sokoletsky L.G., Budak V.P., Shen F., Kokhanovsky A.A.* Comparative analysis of radiative transfer approaches for calculation of plane transmittance and diffuse attenuation coefficient of plane-parallel light scattering layers // *Appl. Opt.* 2014. V. 53. № 3. P. 459–468.
15. *Fokina I.N., Karasik V.E., Orlov V.M., Budak V.P.* Impact of structure geometry on scattering in partially-ordered media // *J.Q.S.R.T.* 2014. V. 149. P. 108–116.
16. *Маракасов Д.А., Троицкий В.О.* Распространение электромагнитного излучения в одноосных средах // *Оптика атмосферы и океана.* 2012. Т. 25. № 7. С. 572–579.
17. *Mikhailov G.A.* Асимптотические оценки средней вероятности прохождения излучения через экспоненциально коррелированную стохастическую среду // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2012. Т. 48. № 6. С. 691–697.
18. *Prigarin S.M., Bazarov K.B., Oppel U.G.* The effect of Multiple Scattering on Polarization and Angular Distributions for Radiation Reflected by Clouds: Results of Monte Carlo Simulation // *Proc. SPIE.* 2014. V. 9292. 92920S, doi: 10.1117/12.2074418
19. *Fomin B.A., Falaleeva V.A.* The Vertical Structure of Aerosols and Clouds Derived from Satellites Equipped with High-Resolution Polarization Sensors // *Int. Journ. Rem. Sensing.* 2014. V. 35. № 15. P. 5800–5811.
20. *Zhuravleva T.B., Kokhanovsky A.A.* Influence of surface roughness on the reflective properties of snow // *J.Q.S.R.T.* 2011. V. 112. P. 1353–1368.
21. *Запывалов А.С., Лебедев Н.Е.* Моделирование статистических характеристик поверхности океана при дистанционном зондировании в оптическом диапазоне // *Оптика атмосферы и океана.* 2014. Т. 27. № 1. С. 28–33.
22. *Мателенок И.В., Мелентьев В.В.* Векторно-координатный подход к определению геометрии визирования при учете влияния крупномасштабных неровностей поверхности суши на ее СВЧ-излучательные свойства // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* 2014. Т. 11. № 4. С. 300–309.
23. *Lyulin O.M., Perevalov V.I., Morino I. et al.* Measurements of Self-Broadening and Self-Induced Pressure-Shift Parameters of Methane Spectral Lines in the 5556–6166  $\text{cm}^{-1}$  // *J.Q.S.R.T.* 2011. V. 112. P. 531–539.
24. *Lyulin O.M., Campargue A., Mondelain D., Kassi S.* The Absorption Spectrum of Acetylene by CRDS between 7244 and 7918  $\text{cm}^{-1}$  // *J.Q.S.R.T.* 2013. V. 130. P. 327–334.
25. *Lyulin O.M., Mondelain D., Beguier S. et al.* High-Sensitivity CRDS Absorption Spectrum of Acetylene between 5851 and 6341  $\text{cm}^{-1}$  // *Molecular Phys.* 2014. V. 112. P. 2433–2444.
26. *Beguier S., Mikhailenko S., Campargue A.* The Absorption Spectrum of Water between 13540 and 14070  $\text{cm}^{-1}$ : ICLAS detection of weak lines and a complete line list // *J. Mol. Spectrosc.* 2011. V. 265. P. 106–109.
27. *Liu A.W., Kassi S., Perevalov V.I. et al.* High Sensitivity CW-Cavity Ring Down Spectroscopy of  $\text{N}_2\text{O}$  near 1.28  $\mu\text{m}$  // *J. Mol. Spectrosc.* 2011. V. 267. P. 191–199.
28. *Mikhailenko S., Kassi S., Wang Le, Campargue A.* The Absorption Spectrum of Water in the 1.25  $\mu\text{m}$  Transparency Window (7408–7920  $\text{cm}^{-1}$ ) // *J. Mol. Spectrosc.* 2011. V. 269. P. 92–103.
29. *Lu Y., Mondelain D., Liu A.W. et al.* High Sensitivity CW-Cavity Ring Down Spectroscopy of  $\text{N}_2\text{O}$  between 6950 and 7653  $\text{cm}^{-1}$  (1.44–1.31  $\mu\text{m}$ ): I. Line Positions // *J.Q.S.R.T.* 2012. V. 113. № 10. P. 749–762.
30. *Jacquemart D., Gueye F., Lyulin O.M. et al.* Infrared Spectroscopy of  $\text{CO}_2$  Isotopologues from 2200 to 7000  $\text{cm}^{-1}$ : I – Characterizing Experimental Uncer-

- tainties of Positions and Intensities // J.Q.S.R.T. 2012. V. 113. № 11. P. 961–975.
31. Leshchishina O.M., Naumenko O.V., Campargue A. High Sensitivity ICLAS of H<sub>2</sub><sup>18</sup>O in the 12580–13550 cm<sup>-1</sup> Transparency Window // J.Q.S.R.T. 2011. V. 112. P. 913–924.
  32. Leshchishina O.M., Naumenko O.V., Campargue A. High Sensitivity ICLAS of H<sub>2</sub><sup>18</sup>O between 13540 and 14100 cm<sup>-1</sup> // J. Mol. Spectrosc. 2011. V. 268. P. 28–36.
  33. Leshchishina O., Mikhailenko S., Mondelain D. et al. CRDS of Water Vapor at 0.1 Torr between 6886 and 7406 cm<sup>-1</sup> // J.Q.S.R.T. 2012. V. 113. № 17. P. 2155–2166.
  34. Leshchishina O., Mikhailenko S., Mondelain D. et al. An Improved Line List for Water Vapor in the 1.5 μm Transparency Window by Highly Sensitive CRDS between 5852 and 6607 cm<sup>-1</sup> // J.Q.S.R.T. 2013. V. 130. P. 69–80.
  35. Lukashevskaya A.A., Naumenko O.V., Perrin A. et al. High Sensitivity Cavity Ring Down Spectroscopy of NO<sub>2</sub> between 7760 and 7917 cm<sup>-1</sup> // J.Q.S.R.T. 2013. V. 130. P. 249–259.
  36. Karlovets E.V., Lu Y., Mondelain D. et al. High Sensitivity CW-Cavity Ring Down Spectroscopy of N<sub>2</sub>O between 6950 and 7653 cm<sup>-1</sup> (1.44–1.31 μm): II. Line intensities // J.Q.S.R.T. 2013. V. 117. P. 81–87.
  37. Karlovets E.V., Kassi S., Tashkun S.A. et al. High Sensitivity Cavity Ring Down Spectroscopy of Carbon Dioxide in the 1.19–1.26 μm Region // J.Q.S.R.T. 2014. V. 144. P. 137–153.
  38. Oudot C., Regalia L., Mikhailenko S. et al. Fourier Transform Measurements of H<sub>2</sub><sup>18</sup>O and HD<sup>18</sup>O in the Spectral Range 1000–2300 cm<sup>-1</sup> // J.Q.S.R.T. 2012. V. 113. № 11. P. 859–869.
  39. Regalia L., Oudot C., Mikhailenko S. et al. Water Vapor Line Parameters from 6450 to 9400 cm<sup>-1</sup> // J.Q.S.R.T. 2014. V. 136. P. 119–136.
  40. Rothman L.S., Gordon I.E., Babikov Y. et al. The HITRAN 2012 Molecular Spectroscopic Database // J.Q.S.R.T. 2013. V. 130. P. 4–50.
  41. Tashkun S.A., Perevalov V.I. CDSD-4000: High-Resolution, High-Temperature Carbon Dioxide Spectroscopic Databank // J.Q.S.R.T. 2011. V. 112. P. 1403–1410.
  42. Rey M., Nikitin A.V., Tyuterev V.I.G. Theoretical Hot Methane Line Lists up to T = 2000 K for Astrophysical Applications // Astrophys. Journ. 2014. V. 789, doi: 10.1088/0004-637X/789/1/2
  43. Lavrentieva N.N., Voronin B.A., Naumenko O.V. et al. Linelist of HD<sup>16</sup>O for Study of Atmosphere of Terrestrial Planets (Earth, Venus and Mars) // Icarus. 2014. V. 236. P. 38–47.
  44. Babikov Yu.L., Mikhailenko S.N., Barbe A., Tyuterev V.I.G. S&MPO – An Information System for Ozone Spectroscopy on the WEB // J.Q.S.R.T. 2014. V. 145. P. 169–196.
  45. Tennyson J., Bernath P.F., Brown L.R. et al. IUPAC Critical Evaluation of the Rotational-Vibrational Spectra of Water Vapor. Pt III: Energy Levels and Transition Wavenumbers for H<sub>2</sub><sup>16</sup>O // J.Q.S.R.T. 2013. V. 117. P. 29–58.
  46. Tennyson J., Bernath P.F., Brown L.R. et al. IUPAC Critical Evaluation of the Rotational-Vibrational Spectra of Water Vapor. Part IV: Energy levels and transition wavenumbers for D<sub>2</sub><sup>16</sup>O, D<sub>2</sub><sup>17</sup>O, and D<sub>2</sub><sup>18</sup>O // J.Q.S.R.T. 2014. V. 142. P. 93–108.
  47. Tennyson J., Campargue A., Bernath P.F. et al. A Database of Water Transitions from Experiment and Theory (IUPAC Technical Report) // Pure Appl. Chem. 2014. V. 86. P. 71–83.
  48. Chesnokova T.Yu., Boudon V., Gabard T. et al. Near-infrared radiative transfer modelling with different CH<sub>4</sub> spectroscopic databases to retrieve atmospheric methane total amount // J.Q.S.R.T. 2011. V. 112. P. 2676–2682.
  49. Чеснокова Т.Ю. Спектроскопические факторы, влияющие на точность моделирования атмосферного радиационного переноса в полосах поглощения метана в ближнем ИК-диапазоне // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 5. С. 398–407.
  50. Osipov K.Yu., Protasevich A.E., Kapitanov V.A., Ponurovskii Ya.Ya. Collision Parameters of N<sub>2</sub>-Broadened Methane Lines in R5 multiplet of 2ν<sub>3</sub> Band. Multi-spectrum Fitting of Overlapping Spectral Lines // Appl. Phys. B. 2012. V. 106. № 3. P. 725–732.
  51. Kapitanov V.A., Osipov K.Yu., Protasevich A.E., Ponomarev Yu.N. Collisional Parameters of N<sub>2</sub> Broadened Methane Lines in the R9 Multiplet of the 2ν<sub>3</sub> Band. Multispectrum Fittings of the Overlapping Spectral Lines // J.Q.S.R.T. 2012. V. 113. № 16. P. 1985–1992.
  52. Ченцов А.В., Воронина Ю.В., Чеснокова Т.Ю. Моделирование атмосферного пропускания с различными контурами линий поглощения CO<sub>2</sub> // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 9. С. 711–715.
  53. Чеснокова Т.Ю., Журавлева Т.Б., Воронина Ю.В. и др. Моделирование потоков солнечного излучения с использованием высотных профилей концентрации водяного пара, характерных для условий Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 11. С. 969–975.
  54. Чеснокова Т.Ю., Журавлева Т.Б., Пташник И.В., Ченцов А.В. Моделирование потоков солнечного излучения в атмосфере с использованием различных моделей непрерывного поглощения водяного пара в типичных условиях Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 2. С. 100–107.
  55. Журавлева Т.Б., Сакерин С.М., Бедарева Т.В. и др. Потоки солнечной радиации в безоблачной атмосфере Западной Сибири: сравнение результатов моделирования и натуральных измерений // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 11. С. 985–994.
  56. Фирсов К.М., Чеснокова Т.Ю., Бобров Е.В. Роль непрерывного поглощения паров воды в длинноволновых радиационных процессах приземного слоя атмосферы в регионе Нижнего Поволжья // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 8. С. 665–672.
  57. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др. Пространственно-временная изменчивость суммарной солнечной радиации на территории Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 8. С. 659–664.

58. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Скляднева Т.К. Многолетний мониторинг суммарной и ультрафиолетовой (В) радиации в районе г. Томска // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 1. С. 61–65.
59. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Скляднева Т.К. Влияние города на приходящую ультрафиолетовую радиацию по результатам многолетнего мониторинга в районе Томска // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 12. С. 1113–1119.
60. Ивлев Г.А., Белан Б.Д., Дорохов В.М. Динамика солнечной УФ–В- и УФ–А-радиации в Томске во время озоновой аномалии весной 2011 г. // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 11. С. 995–1004.
61. Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е. Оценка воздействия различных атмосферных параметров на биологически активную УФ-радиацию по данным расчетов и измерений // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 9. С. 775–781.
62. Chubarova N., Zhdanova Y. Ultraviolet resources over Northern Eurasia // J. Photochem. Photobiology B. 2013. V. 127. С. 38–51.
63. Zhdanova E. Yu., Chubarova N. Ye., Blumthaler M. Biologically Active UV-Radiation and UV-resources in Moscow (1999–2013) // Geography. Environment. Sustainability. 2014. № 2. P. 71–85.
64. Чубарова Н.Е., Незваль Е.И., Беликов И.Б. и др. Климатические и экологические характеристики московского мегаполиса за 60 лет по данным Метеорологической обсерватории МГУ // Метеорология и гидрология. 2014. № 9. С. 49–64.
65. Горбаренко Е.В., Шиловцева О.А. Гелиоэнергетические ресурсы Москвы // Альтернативная энергетика и экология. 2013. Т. 6. № 2. С. 28–35.
66. Самукова Е.А., Горбаренко Е.В., Ерохина А.Е. Многолетние изменения солнечной радиации на территории Европы // Метеорология и гидрология. 2014. № 8. С. 15–24.
67. Горбаренко Е.В., Абакумова Г.М. Вариации радиационного баланса подстилающей поверхности по многолетним наблюдениям МО МГУ // Метеорология и гидрология. 2011. № 6. С. 42–54.
68. Горбаренко Е.В. Многолетние изменения длинноволновой радиации в Москве // Метеорология и гидрология. 2013. № 10. С. 29–39.
69. Рахимов Р.Ф., Козлов В.С., Шмаргунов В.П. О временной динамике комплексного показателя преломления и микроструктуры частиц по данным спектрофелометрических измерений в смешанных дымах // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 10. С. 887–897.
70. Рахимов Р.Ф., Козлов В.С., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П. Оптические и микрофизические свойства пиролизного дыма по данным измерений 4-х волновым поляризационным спектрофелометром // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 12. С. 1045–1053.
71. Панченко М.В., Терпугова С.А., Докукина Т.А. и др. Многолетняя изменчивость конденсационной активности аэрозоля в г. Томске // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 4. С. 314–318.
72. Михайлов Е.Ф., Меркулов В.В., Власенко С.С. и др. Дифференциальный анализатор гигроскопических свойств аэрозольных частиц, осажденных на фильтр // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 6. С. 1–14.
73. Mikhailov E., Vlasenko S., Rose D., Poeschl U. Mass-based hygroscopicity parameter interaction model and measurement of atmospheric aerosol water uptake // Atm. Chem. Physics. 2013. V. 13. № 2. P. 717–740.
74. Свириденков М.А., Веричев К.С., Власенко С.С. и др. Определение характеристик атмосферного аэрозоля по данным трехволнового интегрирующего нефелометра // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 3. С. 175–181.
75. 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. № . С. 1–11.
76. Рублев А.Н., Власова Ю.В., Горбаренко Е.В. Уточнение прогноза распространения загрязняющих веществ в атмосфере с помощью математического моделирования и инструментальных измерений // Метеорология и гидрология. 2013. № 5. С. 36–47.
77. Chubarova N., Smirnov A., Holben B.N. Aerosol properties in Moscow according to 10 years of AERONET measurements at the Meteorological Observatory of Moscow State University. Geography // Environ. Sustainability. 2011. V. 4. № 1. P. 19–32.
78. Matvienko G.G., Belan B.D., Panchenko M.V. et al. Instrumentation Complex for Comprehensive Study of Atmospheric Parameters // Int. J. Rem. Sens. 2014. V. 35. № 15. P. 5651–5676.
79. Matvienko G.G., Belan B.D., Panchenko M.V. et al. Complex Experiment on the Study of Microphysical, Chemical and Optical Properties of Aerosol Particles and Estimation of Atmospheric Aerosol Contribution in the Earth Radiation Budget // Proc. SPIE. 2014. V. 9292, doi: 10.1117/12.2075507.
80. Польшин В.В., Польшин Вас.В., Голобокова Л.П. и др. О межгодовой изменчивости широтного распределения микрофизических и химических характеристик приводного аэрозоля в Восточной Атлантике в 2006–2010 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 6. С. 519–524.
81. Чернов Д.Г., Козлов В.С., Панченко М.В. и др. Особенности изменчивости концентраций аэрозоля и сажи в приземном слое воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) в 2011–2013 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 4(102). С. 34–44.
82. Русина Е.Н., Радионов В.Ф., Сибир Е.Е. Изменчивость аэрозольно-оптических параметров атмосферы в северной и южной полярных областях после 2000 г. // Пробл. Аркт. Антарк. 2013. Т. 95. № 1. С. 5160.
83. Польшин В.В., Польшин Вас.В., Панченко М.В. Годовой ход микрофизических характеристик аэрозоля на станции Восток в 2009 и 2011 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 11. С. 963–967.
84. Польшин В.В., Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Голобокова Л.П. Результаты сравнительных исследований оптических, микрофизических характеристик и химического состава аэрозоля над Каспийским морем в 26-м и 41-м рейсах НИС “Рифт” //

- Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 8. С. 628–635.
85. *Полькин В.В., Козлов В.С., Турчинович Ю.С., Шмаргунов В.П.* Сравнительный анализ микрофизических характеристик аэрозоля в морских и прибрежных районах Приморья // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 6. С. 538–546.
  86. *Шмирко К.А., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю. и др.* Вариации микрофизических параметров аэрозоля приземного слоя атмосферы в переходной зоне “материк–океан” // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 8. С. 619–627.
  87. Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России / Под ред. Сакерина С.М. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2012. 484 с.
  88. *Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В. и др.* Аэрозольная оптическая толщина атмосферы в Дальневосточном Приморье по данным спутниковых и наземных наблюдений // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 8. С. 654–660.
  89. *Кабанов Д.М., Курбангалиев Т.Р., Рассказчикова Т.М. и др.* Влияние синоптических факторов на вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 8. С. 665–674.
  90. *Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М.* Особенности пространственного распределения аэрозольной оптической толщи атмосферы в азиатской части России // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 6. С. 484–490.
  91. *Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В. и др.* Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы на территории Поволжья, Урала и Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 11. С. 958–962.
  92. *Сакерин С.М., Власов Н.И., Кабанов Д.М. и др.* Результаты спектральных измерений аэрозольной оптической толщины атмосферы солнечными фотометрами в 58 Российской антарктической экспедиции // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 27. № 12. С. 1059–1067.
  93. *Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Кабанов Д.М. и др.* О результатах исследований аэрозольной оптической толщи атмосферы в арктических районах // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 5. С. 413–423.
  94. *Tomasi C., Lupi A., Mazzola M. et al.* An update of the long-term trend of aerosol optical depth in the polar regions using POLAR-AOD measurements performed during in International Polar Year // *Atm. Environment*. 2012. V. 52. P. 29–47.
  95. *Smirnov A., Sayer A.M., Holben B.N. et al.* Effect of wind speed on aerosol optical depth over remote oceans, based on data from the Maritime Aerosol Network // *Atm. Meas. Tech*. 2012. № 5. P. 377–388.
  96. *Chubarova N., Nezval' Ye, Sviridenkov I. et al.* Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010 // *Atm. Meas. Tech*. 2012. V. 5. С. 557–568.
  97. *Горчакова И.А., Мохов И.И.* Радиационный и температурный эффекты дымового аэрозоля в московском регионе в период летних пожаров 2010 г. // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2012. Т. 48. № 5. С. 558–565.
  98. *Trefilova A.V., Artamonova M.S., Kuderina T.M. et al.* Chemical Composition and Microphysical Characteristics of Atmospheric Aerosol over Moscow and Its Vicinity in June 2009 and during the Fire Peak of 2010 // *Izv. Atm. Oceanic Physics*. 2013. V. 49. № 7. P. 765–778.
  99. *Шукуров К.А., Мохов И.И., Шукурова Л.М.* Оценка радиационного форсинга дымового аэрозоля летних пожаров 2010 г. на основе измерений в московском регионе // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2014. Т. 50. № 3. С. 256–265.
  100. *Чубарова Н.Е., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шулловцева О.А.* Аэрозольные и радиационные характеристики атмосферы во время лесных и торфяных пожаров в 1972, 2002 и 2010 гг. в Подмоскowie // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2011. Т. 47. № 6. С. 790–800.
  101. *Kozlov V.S., Yausheva E.P., Terpigova S.A. et al.* Optical-Microphysical Properties of Smoke Haze from Siberian Forest Fires in Summer 2012 // *Int. J. Rem. Sensing*. 2014. V. 35. № 15. P. 5722–5741.
  102. *Рахимов Р.Ф., Козлов В.С., Панченко М.В. и др.* Свойства атмосферного аэрозоля в дымовых шлейфах лесных пожаров по данным спектрофелометрических измерений // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 2. С. 126–133.
  103. *Бедарева Т.В., Журавлева Т.Б.* Восстановление индикатрисы и альbedo однократного рассеяния аэрозоля по данным радиационных измерений в альмукантарате Солнца: численное моделирование // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 2. С. 128–138.
  104. *Бедарева Т.В., Свириденков М.А., Журавлева Т.Б.* Восстановление оптических и микрофизических характеристик аэрозоля по данным наземных спектральных измерений прямой и рассеянной солнечной радиации. Часть 1: Тестирование алгоритма // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 7. С. 602–612.
  105. *Bedareva T.V., Sviridenkov M.A., Zhuravleva T.B.* Retrieval of Dust Aerosol Optical and Microphysical Properties from Ground-Based Sun-Sky Radiometer Measurements in Approximation of Randomly Oriented Spheroids // *J.Q.S.R.T*. 2014. V. 146. P. 140–157.
  106. *Бедарева Т.В., Журавлева Т.Б.* Оценка аэрозольного поглощения в летних условиях Западной Сибири по данным солнечной фотометрии // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 12. С. 1023–1030.
  107. *Бедарева Т.В., Свириденков М.А., Журавлева Т.Б.* Восстановление оптических и микрофизических характеристик аэрозоля по данным наземных спектральных измерений прямой и рассеянной солнечной радиации. Часть 2: Апробация алгоритма // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 9. С. 768–777.
  108. *Panchenko M.V., Zhuravleva T.B., Terpigova S.A. et al.* An empirical model of optical and radiative characteristics of the tropospheric aerosol over West Siberia in summer // *Atm. Meas. Tech*. 2012. V. 5. P. 1513–1527.

109. Панченко М.В., Козлов В.С., Терпугова С.А. и др. Восстановление оптических характеристик тропосферного аэрозоля Западной Сибири на основе обобщенной эмпирической модели, учитывающей поглощающие и гигроскопические свойства частиц // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 1. С. 46–54.
110. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Козлов В.С. и др. Восстановление коэффициентов аэрозольного ослабления оптического излучения на протяженной приземной трассе по данным измерений параметров аэрозоля в локальном объеме // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 06. С. 478–483.
111. Кароль И.Л., А.А. Киселев, Е.Л. Генихович, С.С. Чичерин. Сокращение выбросов короткоживущих атмосферных примесей как альтернативная стратегия замедления изменений климата // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 5. С. 503–522.
112. Кароль И.Л., А.А. Киселев, В.А. Фролькис. Индексы факторов, формирующих разномасштабные изменения климата // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 4. С. 451–466.
113. Кароль И.Л., Киселев А.А., Фролькис В.А. Радиационные индексы климатоформирующих факторов и их оценки при антропогенных изменениях климата // Метеорология и гидрология. 2012. № 5. С. 15–28.
114. Кароль И.Л., Мелешко В.П., Байдин А.В., Киселев А.А. Радиационные и термодинамические сезонные факторы потепления климата Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 3. С. 5–12.
115. Фролькис В.А., Кокорин А.М. Влияние различных представлений двухфазных частиц стратосферного аэрозоля и распределения их по размерам на оптические параметры и радиационный форсинг // Труды ГГО. 2014. Вып. 571. С. 88–113.
116. Cheremisin A.A., Kushnarenko A.V. Photophoretic Interaction of Aerosol Particles and its Effect on Coagulation in Rarefied Gas Medium // J. Aeros. Sci. 2013. V. 62. P. 26–39.
117. Черемисин А.А., Кушнаренок А.В. Фотофоретическое взаимодействие аэрозольных частиц и его влияние на коагуляцию в атмосфере // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 12. С. 1090–1098.
118. Береснев С.А., Кочнева Л.Б., Журавлева Т.Б., Фирсов К.М. Фотофоретическое движение сажевых аэрозолей в поле коротковолнового солнечного излучения // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 2. С. 175–180.
119. Cheremisin A.A., Shnipov I.S., Horvath H., Rohatschek H. The Global Picture of Aerosol Layers Formation in the Stratosphere and in the Mesosphere under the Influence of Gravitational-Photophoretic and Magneto-Photophoretic Forces // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. D19204, doi: 10.1029/2011JD015958
120. Черемисин А.А., Новиков П.В., Шнипов И.С. и др. Лидарные наблюдения и механизм формирования структуры аэрозольных слоев в стратосфере и мезосфере над Камчаткой // Геомагнетизм и аэронавигация. 2012. Т. 52. № 5. С. 690–700.
121. Черемисин А.А., Маричев В.Н., Новиков П.В. Лидарные наблюдения за содержанием вулканического аэрозоля в атмосфере над Томском // Метеорология и гидрология. 2011. № 9. С. 46–56.
122. Черемисин А.А., Маричев В.Н., Новиков П.В. Перенос полярных стратосферных облаков из Арктики к Томску в январе 2010 г. // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 2. С. 93–99.
123. Иванов В.Н., Зубачев Д.С., Коршунов В.А. и др. Лидарные наблюдения стратосферных аэрозольных следов от Челябинского метеорита // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 2. С. 117–122.
124. 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.
125. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В., Яговкина И.С. Сезонные вариации общего содержания фтористого водорода в атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 6. С. 823–828.
126. Виротайнен Я.А., Ю.М. Тимофеев, Д.В. Ионов и др. Наземные измерения общего содержания озона ИК-методом // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 4. С. 521–532.
127. Яговкина И.С., Поляков А.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Спектроскопические измерения общего содержания фреона СFC-11 в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 2. С. 204–207.
128. Кшевецкая М.А., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Измерения общего содержания закиси азота вблизи Санкт-Петербурга // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 1. С. 75–79.
129. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В. Наземные измерения общего содержания хлористого водорода в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 4. С. 447–455.
130. Семакин С.Г., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. Наземные спектроскопические измерения общего содержания азотной кислоты в атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 3. С. 323–326.
131. Ракитин А.В., Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М. и др. Вариации среднего по высоте отношения смеси СО<sub>2</sub> вблизи Санкт-Петербурга. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 3. С. 298–303.
132. Ионов Д.В., Кшевецкая М.А., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В. Содержание NO<sub>2</sub> в стратосфере по данным наземных измерений солнечного ИК-излучения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49. № 5. С. 565–575.
133. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Виротайнен Я.А., Поберовский А.В. Наземные измерения общего содержания HF в стратосфере вблизи Санкт-Петербурга (2009–2013 гг.) // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 6. С. 675–682.
134. Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Walker K.A. Сравнения спутниковых и наземных измерений содержания фтористого водорода в атмосфере // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 4. С. 57–61.

135. *Gavrilov N.M., Makarova M.V., Poberovskii A.V., Timofeyev Yu.M.* Comparisons of CH<sub>4</sub> satellite GOSAT and ground-based FTIR measurements near Saint-Petersburg (59.9° N, 29.8° E) // *Atm. Meas. Tech.* V. 6. P. 7041–7062.
136. *Гаврилов Н.М., Тимофеев Ю.М.* Сравнения спутниковых (GOSAT) и наземных спектроскопических измерений содержания CO<sub>2</sub> вблизи Санкт-Петербурга // *Исслед. Земли из космоса.* 2013. № 4. С. 1–7.
137. *Макарова М.В., Гаврилов Н.М., Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В.* Сравнения спутниковых (GOSAT) и наземных фурье-спектрометрических измерений содержания метана вблизи Санкт-Петербурга // *Исслед. Земли из космоса.* № 6. 2013. С. 50–56.
138. *Gavrilov N.M., Makarova M.V., Timofeev Y.M., Poberovsky A.V.* Comparisons of Satellite (GOSAT) and Ground-Based Spectroscopic Measurements of CH<sub>4</sub> Content near Saint Petersburg: Influence of Data Collocation // *Int. Journ. Rem. Sensing.* 2014. V. 35. № 15. P. 5628–5636.
139. *Makarova M., Kirner O., Poberovskii A. et al.* Atmospheric Methane Variability at the Peterhof Station (Russia): Ground-Based Observations and Modeling // *Geoph. Res. Abst.* 2014. V. 16. EGU2014-7623-2.
140. *Virolainen Y., Makarova M., Ionov D. et al.* Comparison of Ground-Based FTIR Measurements and EMAC Model Simulations of Trace-Gases Columns near St. Petersburg (Russia) in 2009–2013 // *Geoph. Res. Abst.* V. 16. EGU2014-8050-7.
141. *Virolainen Ya.A., Timofeyev Yu.M., Ionov D.V. et al.* The Ozone Vertical Structure Determining From Ground-Based Fourier Spectrometer Solar IR Radiation Measurements // *Geoph. Res. Abst.* 2012. V. 14. EGU2012-896.
142. *Virolainen Y., Eremenko M., Timofeyev Y. et al.* Measurements of Ozone Columns in Different Atmospheric Layers over St. Petersburg (Russia) using Ground-Based FTIR Spectrometer in Comparison with IASI Satellite Data // *Geoph. Res. Abst.* V. 16. EGU2014-11353-5.
143. *Семенов А.О., Виrolайнен Я.А. Тимофеев Ю.М., Поберовский А.В.* Сравнение наземных ИК-спектроскопических измерений общего содержания водяного пара с данными радиозондовых измерений // *Оптика атмосферы и океана.* 2014. Т. 27. № 11. С. 976–980.
144. *Макарова М.В., Ракитин А.В., Ионов Д.В., Поберовский А.В.* Анализ изменчивости содержания CO, NO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub> в тропосфере в районе Санкт-Петербурга // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2011. Т. 47. № 4. С. 508–520.
145. *Ионов Д.В., Поберовский А.В.* Двуокись азота в воздушном бассейне Санкт-Петербурга: дистанционные измерения и численное моделирование // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2012. Т. 48. № 4. С. 422–433.
146. *Hendrick F., Pommereau J.-P., Goutail F. et al.* NDACC/SAOZ UV-Visible Total Ozone Measurements: Improved Retrieval and Comparison with Correlative Ground-Based and Satellite Observations // *Atm. Chem. Phys.* 2011. V. 12. № 11. P. 5975–5995.
147. *Virolainen Y.A., Timofeyev Y., Polyakov A. et al.* Inter-comparison of Satellite and Ground-Based Measurements of Ozone, NO<sub>2</sub>, HF, and HCl near Saint Petersburg, Russia // *Int. Journ. Rem. Sensing.* 2014. V. 35. № 15. P. 5677–5697.
148. *Pastel M., Pommereau J.-P., Goutail F. et al.* Comparison of Long Term Series of Total Ozone and NO<sub>2</sub> Column Measurements in the Southern Tropics by SAOZ/NDACC UV-Vis Spectrometers and Satellites // *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* 2013. V. 6. P. 4851–4893.
149. *Pastel M., Pommereau J.-P., Goutail F. et al.* Construction of Merged Satellite Total O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> Time Series in the Tropics for Trend Studies and Evaluation by Comparison to NDACC SAOZ Measurements // *Atmos. Meas. Tech.* 2014. V. 7. P. 3337–3354.
150. *Зайцев Н.А., Тимофеев Ю.М., Косцов В.С.* Сравнение радиозондовых и наземных дистанционных микроволновых измерений профилей температуры в тропосфере // *Оптика атмосферы и океана.* 2014. Т. 27. № 05. С. 392–398.
151. *Косцов В.С., Поберовский А.В., Осипов С.И., Тимофеев Ю.М.* Комплексная методика интерпретации наземных микроволновых спектральных измерений в задаче определения вертикального профиля содержания озона // *Оптика атмосферы и океана.* 2012. Т. 25. № 4. С. 354–360.
152. *Kostsov V.* General Approach to the Formulation and Solution of the Multi-Parameter Inverse Problems of Atmospheric Remote Sensing // *AIP Conf. Proc.* 2013. V. 1531. P. 240–243.
153. *Ракитин В.С., Фокеева Е.В., Гречко Е.И. и др.* Вариации содержания окиси углерода в атмосфере Московского мегаполиса // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2011. Т. 47. № 1. С. 64–72.
154. *Панкратова Н.В., Еланский Н.Ф., Беликов И.Б. и др.* Озон и окислы азота в приземном воздухе Северной Евразии по наблюдениям в экспериментах TROICA // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2011. Т. 47. № 3. С. 343–358.
155. *Фокеева Е.В., Сафронов А.Н., Ракитин В.С. и др.* Исследование влияния пожаров в июле–августе 2010 г. на загрязнение окисью углерода атмосферы Москвы и окрестностей // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2011. Т. 47. № 6. С. 739–756.
156. *Еланский Н.Ф., Мохов И.И., Беликов И.Б. и др.* Газовые примеси в атмосфере над Москвой летом 2010 г. // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2011. Т. 47. № 6. С. 729–738.
157. *Гинзбург А.С., Виноградова А.А., Фёдорова Е.И.* Некоторые особенности сезонного хода содержания метана в атмосфере северной Евразии // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2011. Т. 47. № 1. С. 50–63.
158. *Грибанов К.Г., Захаров В.И., Береснев С.А. и др.* Зондирование HDO/H<sub>2</sub>O в атмосфере Урала методом наземных измерений ИК-спектров солнечного излучения с высоким спектральным разрешением // *Оптика атмосферы и океана.* 2011. Т. 24. № 02. С. 124–127.
159. *Bass L.P., Nikolaeva O.V., Kuznetsov V.S.* Remote Sensing of the Atmosphere and the Small Angle Approximation to the Solution of the Radiative Transfer

- Equation // *Int. J. Rem. Sensing*. 2014. V. 35. № 15. P. 5830–5844.
160. *Кадыгров Е.Н., Агапов Ю.В., Горелик А.Г. и др.* Результаты мониторинга термодинамического состояния тропосферы многоканальным микроволновым радиометрическим комплексом // *Оптика атмосферы и океана*. 2013. Т. 26. № 6. С. 459–465.
161. *Кадыгров Е.Н., Горелик А.Г., Точилкина Т.А.* Результаты исследований водозаписа облаков радиометрическим комплексом “Микрорадком” // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27. № 06. С. 546–552.
162. *Кузнецова И.Н., Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А., Нахаев М.И.* Характеристики температуры в нижнем 600-метровом слое по данным дистанционных измерений приборами МТП-5 // *Оптика атмосферы и океана*. 2012. Т. 25. № 10. С. 877–883.
163. *Горчаков Г.И., Кадыгров Е.Н., Куницын В.Е. и др.* Московский остров тепла в блокирующем антициклоне летом 2010 г. // *ДАН*. 2014. Т. 456. № 5. С. 591–595.
164. *Эзау И.Н., Вольф Т., Миллер Е.А. и др.* Анализ результатов дистанционного мониторинга профиля температуры в нижних слоях атмосферы долины г. Берген (Норвегия) // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 10. С. 93–103.
165. *Kadygrov E.N., Miller E.A., Troitsky A.V.* Study of Atmospheric Boundary Layer Thermodynamics during Total Solar Eclipses // *IEEE Trans. Rem. Sens.* 2013. V. 51. № 9. P. 4672–4677.
166. *Жуков В.Ю., Шукин Г.Г.* Состояние и перспективы сети доплеровских метеорологических радиолокаторов // *Метеорология и гидрология*. 2014. № 2. С. 92–100.
167. *Крамчанинова Е.К., Успенский А.Б.* Определение приповерхностной температуры воздуха над сушей по данным микроволнового зондирования с ИСЗ “Метеор-М” № 1 // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. № 3. С. 127–136.
168. *Караваяев Д.М., Кулешов Ю.В., Успенский А.Б., Шукин Г.Г.* Валидация информационных продуктов спутниковых радиометров микроволнового диапазона. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 3. С. 259–267.
169. *Асмус В.В., Дядюченко В.Н., Загрбаев В.А. и др.* Развитие космического комплекса гидрометеорологического обеспечения на базе геостационарных спутников серии “Электро-Л” // *Вестник ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина”*. Космонавтика и ракетостроение. 2012. Т. 12. № 1. С. 3–14.
170. *Успенский А.Б., Рублев А.Н.* Современное состояние и перспективы спутникового гиперспектрального атмосферного зондирования // *Исслед. Земли из космоса*. 2013. № 6. С. 4–15.
171. *Успенский А.Б., Рублев А.Н., Русин Е.В., Пяткин В.П.* Быстрая радиационная модель для анализа данных гиперспектрального ИК-зондирующего спутников серии “Метеор-М” // *Исслед. Земли из космоса*. 2013. № 6. С. 16–24.
172. *Поляков А.В.* Использование метода искусственных нейронных сетей при восстановлении вертикальных профилей атмосферных параметров // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27. № 1. С. 34–39.
173. *Поляков А.В., Тимофеев Ю.М., Виролайнен Я.А.* Применение искусственных нейронных сетей в температурно-влажностном зондировании атмосферы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2014. Т. 50. № 3. С. 373–380.
174. *Polyakov A., Timofeyev Y.M., Virolainen Y.* Comparison of different techniques in atmospheric temperature-humidity sensing from space // *Int. J. Rem. Sens.* 2014. V. 35. № 15. P. 5899–5912.
175. *Polyakov A., Timofeyev Y., Kostsov V. et al.* The atmospheric and surface sounding from the Meteor satellite (numerical simulation) // *AIP Conf. Proceedings*. 2013. V. 1531. P. 224–227.
176. *Крамчанинова Е.К., Успенский А.Б.* Мониторинг общего содержания озона в атмосфере по данным российского геостационарного метеоспутника “Электро-Л” // *Исслед. Земли из космоса*. 2013. № 2. С. 12–18.
177. *Аванесов Г.А., Полянский И.В., Жуков Б.С. и др.* Комплекс многозональной спутниковой съемки на борту КА “МЕТЕОР-М” № 1: Три года на орбите // *Исслед. Земли из космоса*. 2013. № 2. С. 74–83.
178. *Аршинов М.Ю., Афонин С.В., Белан Б.Д. и др.* Сравнение спутниковых спектрометрических и самолетных измерений газового состава в тропосфере над Сибирским регионом в период лесных пожаров 2012 г. // *Исслед. Земли из космоса*. 2014. № 1. С. 72–84.
179. *Успенский А.Б., Кухарский А.В., Романов С.В., Рублев А.Н.* Мониторинг концентрации диоксида углерода и общего содержания метана в тропосфере над Сибирью по данным спутниковых ИК-зондировщиков AIRS, IASI // *Исслед. Земли из космоса*. 2011. № 1. С. 14–21.
180. *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. 166–175.
181. *Коновалов И.Б.* Оценка многолетних изменений эмиссий оксидов азота в мегаполисах по данным спутниковых измерений // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2011. Т. 47. № 2. С. 220–229.
182. *Ситнов С.А.* Спутниковый мониторинг содержания газовых примесей атмосферы и оптических характеристик атмосферного аэрозоля над европейской территорией России в апреле–сентябре 2010 г. // *ДАН*. 2011. Т. 437. № 1. С. 102–107.
183. *Ситнов С.А.* Оптическая толща аэрозоля и общее содержание оксида углерода над европейской территорией России в период массовых пожаров лета 2010 г.: взаимосвязь изменчивости загрязнений и метеорологических величин // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2011. Т. 47. № 6. С. 774–788.
184. *Ситнов С.А., Мохов И.И.* Содержание водяного пара в атмосфере над европейской частью России в период летних пожаров 2010 г. // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2013. Т. 49. № 4. С. 414–428.

185. *Sitnov S.A., Mokhov I.I., Lupo A.R.* Evolution of Water Vapor Plume over Eastern Europe during Summer 2010 Atmospheric Blocking. *Adv. Meteorology*. 2014. Article ID 253953. 11 p., doi: 10.1080/01431161.2014.945008.
186. *Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Sviridenkov M.A. et al.* Satellite and Ground-Based Monitoring of Smoke in the Atmosphere during the Summer Wildfires in European Russia in 2010 and Siberia in 2012 // *Int. J. Rem. Sens.* 2014. V. 35. № 15. P. 5698–5721.
187. *Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г. и др.* Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля задымленной атмосферы московского региона в 2010 году // *ДАН*. 2011. Т. 437. № 5. С. 686–690.
188. *Голицын Г.С., Горчаков Г.И., Гречко Е.И. и др.* Экстремальное загрязнение угарным газом пограничного слоя атмосферы в московском регионе летом 2010 г. // *ДАН*. 2011. Т. 441. № 4. С. 532–538.
189. *Ситнов С.А., Горчаков Г.И., Свириденков М.А. и др.* Аэрокосмический мониторинг дымового аэрозоля на европейской части России в период массовых пожаров лесов и торфяников в июле–августе 2010 г. // *Оптика атмосферы и океана*. 2012. Т. 25. № 12. С. 1062–1076.
190. *Ситнов С.А., Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Карпов А.В.* Эволюция и радиационные эффекты экстремального задымления европейской России летом 2010 года // *ДАН*. 2012. Т. 446. № 5. С. 561–567.
191. *Ситнов С.А., Горчаков Г.И., Свириденков М.А. и др.* Влияние атмосферной циркуляции на эволюцию и радиационный форсинг дымового аэрозоля на европейской части России летом 2010 г. // *Исслед. Земли из космоса*. 2013. № 2. С. 28–40.
192. *Афонин С.В.* К вопросу о применимости восстановленных из космоса метеоданных MODIS для атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений // *Оптика атмосферы и океана*. 2010. Т. 23. № 8. С. 684–690.
193. *Волкова Е.В.* Использование комплексной пороговой методики для климатических исследований параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным SEVIRI/Meteorat-9 // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. № 2. С. 200–206.
194. *Волкова Е.В.* Оценки параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным радиометра AVHRR с МИСЗ серии NOAA круглосуточно в автоматическом режиме // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2013. Т. 10. № 3. С. 66–74.
195. *Нерушев А.Ф., Крамчанинова Е.К.* Метод определения характеристик атмосферных движений по данным измерений метеорологических геостационарных спутников // *Исслед. Земли из космоса*. 2011. № 1. С. 3–13.
196. *Нерушев А.Ф., Бархатов А.Э.* Динамические характеристики циклонов тропических и умеренных широт по данным спутниковых измерений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. № 2. С. 220–226.
197. *Нерушев А.Ф., Чечин Д.Е.* Определение характеристик атмосферных осадков на основе оптических спутниковых измерений // *Исслед. Земли из космоса*. 2014. № 5. С. 29–38.
198. *Нерушев А.Ф.* Струйные течения в атмосфере Земли // *Земля и вселенная*. 2014. № 6. С. 21–30.
199. *Бухаров М.В.* Диагноз вероятности гроз по спутниковой информации // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 8. С. 5–16.
200. *Алексеева А.А., Бухаров М.В.* Диагноз гроз по синхронной информации спутниковых радиометров микроволнового и инфракрасного диапазонов // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 6. С. 29–37.
201. *Алексеева А.А., Бухаров М.В., Лосев В.М., Соловьев В.И.* Диагноз осадков и гроз по измерениям уходящего теплового излучения облачности с геостационарных спутников // *Метеорология и гидрология*. 2006. № 8. С. 33–42.
202. *Лаврова О.Ю., Митягина М.И.* Спутниковый мониторинг пленочных загрязнений поверхности Черного моря // *Исслед. Земли из космоса*. 2012. № 3. С. 48–63.
203. *Петренко Д.А., Заболотских Е.В., Поздняков Д.В. и др.* Межгодовые вариации и тренд продукции неорганического углерода кокколитофорного происхождения в Арктике за период 2002–2010 гг. по спутниковым данным // *Исслед. Земли из космоса*. 2013. № 2. С. 19–26.
204. *Morozov E., Pozdnyakov D., Sychev V. et al.* Space-Borne Study of Seasonal, Multi-Year, and Decadal Phytoplankton Dynamics in the Bay of Biscay // *Int. J. Rem. Sensing*. 2013. V. 34. № 4. P. 1297–1331.
205. *Petrenko D., Pozdnyakov D., Sychev V. et al.* Satellite-Derived Multi-Year Trend in Primary Production in the Arctic Ocean // *Int. J. Rem. Sensing*. 2013. V. 34. № 11. P. 3903–3937.
206. *Алексеева Т.А., Фролов С.В.* Сравнительный анализ спутниковых и судовых данных о ледяном покрове в морях российской Арктики // *Исследования Земли из космоса*. 2012. № 6. С. 69–75.
207. *Бухаров М.В., Кухарский А.В., Миронова Н.С., Соловьев В.И.* Круглогодичный мониторинг свойств морского льда по измерениям спутникового микроволнового радиометра AMSU // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 3. С. 71–83.
208. *Асмус В.В., Бухаров М.В., Миронова Н.С., Сизенова Е.А.* Свойства снежно-фирнового покрова ледников Гренландии по спутниковым измерениям его индекса рассеяния // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 4. С. 5–16.
209. *Startseva Z., Muzylev E., Volkova E. et al.* Water and Heat Regimes Modelling for a Vast Territory Using Remote-Sensing Data // *Int. J. Rem. Sensing*. 2014. V. 35. № 15. P. 5775–5799.
210. *Gelfan A., Muzylev E., Uspensky A. et al.* Remote Sensing Based Modeling of Water and Heat Regimes in a Vast Agricultural Region // *Remote Sensing – Applications / Ed. Escalante-Ramirez. B. Rijeka, Croatia: InTech – Open Access Publisher, 2012. Chapter 6. P. 141–176.*

**Russian Investigations in the Field of Atmospheric Radiation in 2011–2014****Yu. M. Timofeev\* and E. M. Shul'gina***St. Petersburg State University, ul. Ul'yanovskaya 1, Petergof, St. Petersburg, 198504 Russia**\*e-mail: y.timofeev@spbu.ru*

A short survey prepared by the Russian Commission on Atmospheric Radiation contains the most significant results of work in the field of atmospheric-radiation studies performed in 2011–2014. 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 the concerned departments and organizations, organized two International Symposia on Radiation and Dynamics (ISARD-2011 and ISARD-2013). At these conferences, the central problems in modern atmospheric physics were discussed: radiative transfer (RT) and atmospheric optics; greenhouse gases, clouds, and aerosols; remote methods of measurements; and new measurement data. This survey presents six directions covering the whole spectrum of investigations performed in the field of atmospheric radiation.

*Keywords:* atmospheric optics, remote methods of measurements, greenhouse gases, atmospheric dynamics, radiation climatology