

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Сибирское отделение  
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева  
Российский фонд фундаментальных исследований  
(посвящается столетию Г.В. Розенберга)

**XXI Рабочая группа**



# **АЭРОЗОЛИ СИБИРИ**

---

Тезисы докладов

Томск  
Издательство ИОА СО РАН  
2014

УДК 551.508; 551.510; 551.521  
ББК 32.86  
А 932

**Аэрозоли Сибири. XXI Рабочая группа:** Тезисы докладов. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2014.  
– 109 с.

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

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

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

Ответственный за выпуск О.В. Харченко



Рабочая группа проводится при поддержке РФФИ (Грант № 14-05-20492).

# ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОЗОЛЯ

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РАДИАЦИОННО-ЗНАЧИМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУБМИКРОННОГО АЭРОЗОЛЯ К СПЕКТРУ РАЗМЕРОВ ПОГЛОЩАЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА

М.В. Панченко, В.С. Козлов, В.В. Польшкин, С.А. Терпугова

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

Исследуется чувствительность альbedo однократного рассеяния и среднего косинуса индикатрисы рассеяния в видимой области спектра, оцениваемым по модели [1], к распределению по размерам поглощающего вещества частиц.

В дополнение к рассматриваемым ранее входным параметрам (коэффициент рассеяния, массовая концентрация поглощающего вещества, функция распределения рассеивающих частиц по размерам) в модель вводятся фракция поглощающих частиц. Параметры данной фракции (средние, минимальные и максимальные значения медианного радиуса и полуширины распределения) оценивались по данным аэталометрических измерений спектра размеров поглощающего вещества с диффузионной батареей в качестве селектора частиц [2].

Оценены диапазоны изменчивости спектральных альbedo однократного рассеяния и среднего косинуса индикатрисы рассеяния при вариациях медианного радиуса и полуширины распределения поглощающей фракции.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Соглашение № 14.604.21.0100), проекта 12.2 ОНЗ РАН и грантов РФФИ № 14-05-93109 НЦНИЛ, 12-05-00395.

1. Панченко М.В., Козлов В.С., Польшкин В.В., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П. 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.
2. Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Панченко М.В., Козлов А.С. Распределение массовой концентрации сажи по размерам в субмикронном приземном аэрозоле по данным диффузионной отсечки и аэталометра // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Сборник докладов XVIII Международного симпозиума [Электронный ресурс – 1 CD-ROM]. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. С. 179–182.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖИ И ЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО РАЗМЕРАМ НА ОСНОВЕ СПЕКТРОНЕФЕЛОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В.С. Козлов, Р.Ф. Рахимов, В.П. Шмаргунов

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

Оценки радиационно-значимых характеристик атмосферного аэрозоля нуждаются в получении различными методами корректной информации о массовой концентрации и распределении по размерам основной поглощающей компоненты аэрозольного вещества (сажа, Black Carbon). В работе анализируются результаты определения концентрации сажи и ее распределения по размерам в субмикронном аэрозоле по данным поляризационных спектронефелометрических измерений коэффициентов углового аэрозольного рассеяния. Апробация подхода опирается на сопоставление результатов одновременных нефелометрических и аэталометрических измерений в сажесодержащем смешанном древесном дыме и сравнении с литературными данными.

Расчеты массовой концентрации сажи для трех субфракций субмикронных частиц выполнялись на основе правила объемной внутренней смеси ВС и непоглощающего вещества с использованием данных о показателях поглощения микро- (радиусы 30–100 нм), средне- (100–430 нм) и крупнодисперсных (430–770 нм) частиц и о соответствующих аэрозольных факторах заполнения, полученных при решении обратной нефелометрической задачи. Оценивались полная концентрация сажи и ее распределение по размерам, относительное содержание сажи.

Анализ показал, что при эволюции дымового аэрозоля нефелометрические и аэталометрические оценки полной концентрации сажи удовлетворительно согласуются между собой. Различия составили в среднем около 16% при вариации концентраций в диапазоне  $30 \div 1000$  мкг/м<sup>3</sup>. Показано, что в смешанном дыме 70–83% концентрации сажи приходится на среднедисперсный, 5–15% – на микродисперсный, 12–26% – на крупнодисперсный диапазоны размеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки (Соглашение № 14.604.21.0100), проекта 12.2 ОНЗ РАН и грантов РФФИ № 14-05-93109 НЦНИЛ, 12-05-00395.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ В 2014 г.

Д.М. Кабанов<sup>1</sup>, А.Н. Прахов<sup>2</sup>, В.Ф. Радионов<sup>2</sup>, Д.Е. Савкин<sup>1</sup>, С.М. Сакерин<sup>1</sup>, Д.Г. Чернов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [dkab@iao.ru](mailto:dkab@iao.ru)

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

В 2014 г. были продолжены экспедиционные исследования аэрозольной оптической толщи атмосферы (АОТ) в высокоширотных районах с использованием солнечных фотометров [1], разработанных в ИОА СО РАН. В докладе представлены данные, полученные в ходе 59-й РАЭ на судах «Академик Фёдоров» (с 11 ноября 2013 г. по 19 марта 2014 г.) и «Академик Трёшников» (с 15 февраля по 6 июня 2014 г.), на антарктической станции «Мирный» (с 6 ноября 2013 г. по 29 марта 2014 г. и с 5 сентября 2014 г.), в Баренцбурге (Шпицберген, с 22 апреля по 15 июня и с 12 по 28 августа 2014 г.). Рассматриваются статистические характеристики спектральных составляющих АОТ, проводится сопоставление с ранее полученными результатами в тех же районах.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 23.1.1 и с использованием уникальной установки НЭС «Академик Фёдоров» – Государственный контракт Министерства образования и науки Российской Федерации № 16.518.11.7093.

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1112–1117.

## ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ОБРАЩЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ВИДИМОЙ И ИК-РАДИАЦИИ

М.А. Свириденков<sup>1</sup>, В.Н. Ужegov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [uzhegov@iao.ru](mailto:uzhegov@iao.ru)

Разработана программа автоматического обращения массива спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления  $\beta(\lambda)$ . Программа состоит из двух подпрограмм: а) расчет ядер интегрального уравнения; б) расчет функции распределения площадей частиц по размерам.

Входными параметрами первой подпрограммы являлись: а) число длин волн –  $N_\lambda = 11$ ; б) число границ радиусов частиц –  $N_r = 28$ ; в) длины волн (в диапазоне от 0,45 до 3,9 мкм); г) действительные и мнимые части показателя преломления аэрозольного вещества для каждой длины волны; д) границы радиусов (от 0,1 до 10 мкм). Входными параметрами второй подпрограммы служили: а) ядра интегрального уравнения, полученные с помощью первой подпрограммы; б) массив эмпирических коэффициентов  $\beta(\lambda)$  (> 1000 реализаций); в) число длин волн, используемых в обращении; г) число радиусов частиц; д) число реализаций.

На выходе программы получались: а) объемная и площадная концентрация частиц; б) относительная суммарная невязка, рассчитанная по всем длинам волн; в) невязка для каждой длины волны и каждой реализации; г) площадные распределения частиц по размерам.

Апробация работы программы обращения была проведена на массиве коэффициентов  $\beta(\lambda)$  (больше 6000 реализаций). Данные получены из измерений прозрачности атмосферы на горизонтальной трассе длиной 1 км, проведенных в теплое время года в 2002–2006 гг. Определены условия формирования исходного массива, для которых имеется возможность оценки средних для массива спектральных зависимостей комплексного показателя преломления аэрозольных частиц.

## ВС НАНОАЭРОЗОЛЬ В ДЫМАХ СИБИРСКИХ БИОМАСС: КОМПЛЕКСНЫЙ ОПТИКО-МИКРОФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ

В.С. Козлов<sup>1</sup>, О.Б. Поповичева<sup>2</sup>, Р.Ф. Рахимов<sup>1</sup>, Д.Г. Чернов<sup>1</sup>, С.-J. Tsai<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, vkozlov@iao.ru

<sup>2</sup>НИИЯФ им. Д.В. Скобелевца Московского государственного университета, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Institute of Environmental Engineering, National Chiao Tung University, Taiwan

При изучении влияния дымов сибирских лесных пожаров на климатические изменения в Арктике информация об эмиссии и свойствах сажеосодержащих частиц является наиболее важной. В работе на основе экспериментов по сжиганию биомассы сосны сибирской в большой аэрозольной камере анализируются вариации концентрации сажи и физико-химических свойств наночастиц в зависимости от режимов горения: тления, пламенного горения и смешанного режима. Выделение из дымов фракции наночастиц с размерами менее 100 нм обеспечивалось двухкаскадным импактором PENS [1]. Аэталометром измерялась концентрация ВС в наночастицах, а спектрофелометром – полная масса субмикронного аэрозоля. Микроструктура наноаэрозолей определялась анализом частиц методами электронной микроскопии SEM/EDX [2].

Анализ показал, что в дымах сибирских биомасс проявляется сильная зависимость морфологии, состава и содержания сажи в наночастицах в зависимости от режима горения. При тлении доминирует органический аэрозоль, и получена большая доля ВС – 66÷73% от полной массы сажи. В дымах пламенного горения преобладают частицы с высокой концентрацией минеральных примесей, которые содержат 3,6÷9% массы ВС. На начальной стадии смешанного дыма долевое содержание ВС в наноаэрозоле составляет около 56%.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-05-00395, 14-05-93109 НЦНИЛ.

1. Cheng Yu.-H., Liao C.-W., Liu Z.-S., Tsai C.-J., His H.-C. A size-segregation method for monitoring the diurnal characteristics of atmospheric black carbon size distribution at urban traffic sites // Atmospheric Environment. 2014. V. 90. P. 78–86.
2. Popovicheva O.B., Kozlov V.S., Engling G., Diapouli E., Persiantseva N.M., Timofeev M.A., Fan T.-S., Saraga D., Eleftheriadis K. Small-scale study of Siberian biomass burning: I. Smoke microstructure // AAQR (в печати).

## ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ВИДИМОГО И ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ В ТОМСКЕ

В.Н. Ужegov, Ю.А. Пхалагов

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

Проведена статистическая обработка массива спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления излучения  $\beta(\lambda)$  (около 6000 реализаций). Данные получены из измерений прозрачности атмосферы на горизонтальной трассе длиной 1 км, проведенных в теплое время года в 2003–2006 гг. Проведено разделение исходных данных на два подмассива, полученных в дымовых (817 спектров) и чистых условиях (5125 спектра). Средние значения и СКО для этих выборок на длине волны  $\lambda = 0,55$  мкм составили соответственно:  $(0,40 \pm 0,18)$  и  $(0,15 \pm 0,07)$  км<sup>-1</sup>; в ИК-диапазоне для  $\lambda = 3,9$  мкм  $(0,09 \pm 0,06)$  и  $(0,07 \pm 0,04)$  км<sup>-1</sup>. В основе принципа разделения на две выборки лежит нахождение наиболее вероятной границы на зависимости от относительной влажности воздуха параметра, связанного с ослаблением излучения субмикронного аэрозоля  $\Delta\beta = \beta(0,55) - \beta(3,9)$ .

Для двух массивов построена однопараметрическая модель спектральной зависимости величин  $\beta(\lambda)$ . Для нахождения коэффициентов регрессии использовалось разложение по собственным векторам ненормированных автокорреляционных матриц. На первые три собственных вектора таких матриц приходится примерно 88,0; 9,0 и 1,5%.

Для чистых условий проведен анализ межсезонной изменчивости аэрозольного ослабления (весна – 1281, лето – 2543 и осень – 1301 реализаций). Для каждого сезона исследовалась суточные вариации коэффициентов  $\beta(\lambda)$ . Максимум аэрозольного ослабления для всех сезонов наблюдается в предрассветные часы, а минимум в послеполуденное время. Наибольшая суточная изменчивость средних значений  $\beta(\lambda)$  в коротковолновой области спектра наблюдается летом – 39%, а в ИК-диапазоне осенью – 25%.

## ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ НЕКОТОРЫХ ГАЗОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ОБЪЕМЕ НАНОПОР АЭРОГЕЛЯ

Т.М. Петрова<sup>1</sup>, Ю.Н. Пономарев<sup>1,2</sup>, А.А. Солодов<sup>1,2</sup>, А.М. Солодов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [asolodov@iao.ru](mailto:asolodov@iao.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Свойства некоторых атмосферных аэрозолей могут быть исследованы на примере нанопористых материалов благодаря их сходному строению. Исследования спектров поглощения молекул, находящихся в газовой фазе внутри объема нанопор начались недавно [1–3]. Данной тематике посвящено значительно меньше работ, чем спектрам адсорбированных молекул.

Измерения спектров поглощения  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  и  $H_2$  проводились на Фурье-спектрометре Bruker IFS 125 HR в диапазоне  $4000\text{--}5800\text{ см}^{-1}$  при комнатной температуре. Обработка спектральных линий газов, находящихся в объеме нанопор проводилась путем подгонки контура Лоренца. Для  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  наблюдаются сильные уширения и сдвиги спектральных линий по сравнению с обычными условиями. Полученные результаты были сопоставлены с данными, имеющимися в литературе. Впервые был зарегистрирован спектр поглощения  $H_2$ , индуцированный столкновениями с поверхностью нанопор.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

1. Ponomarev Yu.N., Petrova T.M., Solodov A.M., Solodov A.A. // Optics Express. 2010. V. 18. P. 26062.
2. Auwera J.V., Ngo N.H., Hamzaoui H.El., Capoen B., Bouazaoui M., Ausset P., Boulet C., Hartmann J.-M. // Phys. Rev. A. 2013. V. 88. 042506.
3. Svensson T., Adolffson E., Burrese M., Savo R., Xu C.T., Wiersma D.S., Svanberg S. // Applied Physics. B. 2013. V. 110. P. 147.

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ОШИБОК ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ ПО ЯВЛЕНИЯМ ПОГОДЫ

В.М. Токарев

ФГБУ Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт,  
г. Новосибирск, Россия, [vi@sibnigmi.ru](mailto:vi@sibnigmi.ru)

Видимость в приземном слое атмосферы является признающей метеорологической характеристикой, отражающей наличие и интенсивность многих явлений погоды. Это одновременно определяет и важность ее для метеообеспечения и методические сложности оценок наблюдений и корректного их использования.

Ключевые проблемы основной наблюдательной сети гидрометеорологических станций на большей части территории России:

- недостаточная пространственно-временная дискретность наблюдений,
- принципиальные различия частотных характеристик изменчивости метеопараметров в зависимости от явлений и масштабов погоды (мезо- и синоптический масштаб).

Для оценки влияния колебаний подсеточного масштаба на объективность и точность идентификации условий погоды между пунктами наблюдений решалась задача получения численных оценок ошибок восстановления видимости, а также высоты облаков и давления у земли с привязкой к масштабам явлений погоды (синоптический и мезомасштаб).

Получены объективные численные оценки степени изменчивости (гладкости) метеорологических параметров на плоскости (сфере), заданных в узлах нерегулярной сетки наблюдений.

Приведены примеры выборочных картированных оценок по срокам и сезонам года для видимости и высоты облаков. Показано, что недопустимо высокие для экстраполяции видимости и высоты облаков ошибки могут занимать очень значительную долю территорий с явлениями погоды (видимость менее 10 км), особенно в утренние часы. Для сравнения, давление легко экстраполируется с ошибкой менее 2 гПа почти во всех рассмотренных случаях.

Исследования в данном направлении не заменяют отсутствие наблюдений с требуемой пространственно-временной дискретностью, но могут и должны заменить субъективные оценки интерполяции расчетными с указанием вероятностных диапазонов и оценок неопределенности с детализацией по параметрам и территории.

## РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ АЭРОЗОЛЬНОГО СВЕТОРАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ЯРКОСТИ НЕБА В ПЛОСКОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕРТИКАЛА

Т.В. Бедарева<sup>1</sup>, М.А. Свириденков<sup>2</sup>, Т.Б. Журавлёва<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия*

На более чем 300 станциях сети AERONET измерения нисходящей рассеянной радиации выполняются с помощью современных Sun–Sky-фотометров CIMEL в двух основных конфигурациях: в альмукантарате Солнца и в плоскости солнечного вертикала. Первая схема наблюдения используется в большинстве алгоритмов решения обратной задачи аэрозольного светорассеяния, в то время как измерения яркости в плоскости вертикала пока не стали объектом массовой обработки. Между тем, измерения последнего типа являются важным источником информации о свойствах аэрозоля. Одной из причин ограниченного использования измерений яркости в плоскости солнечного вертикала является облачность, автоматическая идентификация которой при данной геометрии визирования представляет собой нетривиальную задачу.

На базе предложенного ранее авторами алгоритма решения обратной задачи аэрозольного светорассеяния, обеспечивающего восстановление таких параметров аэрозоля как альbedo и индикатриса однократного рассеяния, распределение частиц по размерам, а также комплексный показатель преломления аэрозольного вещества, разработан новый алгоритм, позволяющий решать обратную задачу на основе данных измерений яркости неба в плоскости солнечного вертикала.

В работе представлено краткое описание алгоритма; приведены результаты оценки влияния вертикальной стратификации оптических параметров атмосферы на точность восстановления интегральных по столбу атмосферы характеристик аэрозоля; обсуждается вопрос селекции/коррекции измерений, выполненных в условиях разорванной облачности. Подход апробирован на данных Томской станции AERONET. Представлены результаты сопоставления аэрозольных характеристик, восстановленных по данным измерений яркости неба в двух геометриях визирования.

Авторы выражают благодарность М.В. Панченко и С.М. Сакерину за возможность использования данных Томской станции AERONET. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-35-50374 мол\_нр).

## Г.В. РОЗЕНБЕРГ: НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ВЛИЯНИЕ НА СОВРЕМЕННУЮ НАУКУ (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФ. Г.В. РОЗЕНБЕРГА)

Г.И. Горчаков, М.А. Свириденков, А.С. Емиленко, А.А. Исаков, В.М. Копейкин, А.В. Карпов

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

Георгий Владимирович Розенберг отличали неустанный поиск новых научных направлений, широкий круг интересов и глубокое проникновение в существо исследуемых явлений.

Г.В. Розенберг внес большой вклад в оптику тонкослойных покрытий, спектроскопию рассеивающих сред, в исследования переноса излучения в мутных средах.

Много внимания Г.В. Розенберг уделял развитию атмосферной оптики: сумеречным исследованиям, оптике облаков, гидрооптике и, конечно, оптике аэрозоля. Благодаря Г.В. Розенбергу матрица рассеяния света стала объектом экспериментальных и теоретических исследований. Развитие новых научных направлений Г.В. Розенберг связывал с разработкой новых оптических методов исследований, включая методы дистанционного зондирования (прожекторного, сумеречного, спутникового), и постановкой новых обратных задач атмосферной оптики.

Г.В. Розенберг активно развивал исследования по физике атмосферного аэрозоля. Он рассматривал атмосферный аэрозоль как динамический объект, состояние и трансформация которого определяются большим количеством разномасштабных атмосферных процессов.

Благодаря Г.В. Розенбергу мы имеем достаточно четкие представления об атмосферном аэрозоле. В настоящее время широкое развитие получили исследования оптических и микрофизических свойств аэрозоля, его поглощательной способности и радиационных эффектов. Успешно развивается спутниковое зондирование аэрозоля.

Приятно отметить, что идеи и подходы Г.В. Розенберга к исследованию атмосферного аэрозоля и оптических явлений в атмосфере успешно развиваются не только в Институте физики атмосферы, но и в других научных организациях.

## ТРОПОСФЕРНЫЕ АЭРОЗОЛЬНЫЕ СЛОИ: ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

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

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, ssv@seversk.tomsknet.ru*

Мы представляем результаты регулярных измерений, проводившихся многочастотным лидаром ЛОЗА-С в Томске (56° с.ш., 85° в.д.).

Из всего объема синоптических процессов, определяющих аэрозольную погоду в Западной Сибири, были выделены только те, что связаны с горизонтальной адвекцией воздушных масс (ВМ). Совместный анализ лидарных наблюдений и 10-суточных обратных траекторий показывает, что изменение направления ВМ происходит по границам раздела аэрозольных слоев (пограничный слой/средняя тропосфера/верхняя тропосфера/стратосфера). Последнее утверждение согласуется со скачкообразным изменением вертикального распределения параметров Ангстрема, а также составляющих показателя преломления при переходе от слоя к слою, наблюдаемых при интерпретации лидарных измерений.

Анализ 110 сеансов зондирования показывает, что доля арктических ВМ не имеет сезонных различий и составляет 32% от общего числа наблюдений для пограничного слоя и 13% для средней тропосферы. Перенос аэрозоля, сформированного в Центральной Азии, является вторым по значимости при заполнении тропосферных слоев в Томске: 25% для пограничного слоя и 35% для средней тропосферы. Анализ средних оптических и микрофизических характеристик слоев дополняет идентификацию указанных типов ВМ.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов Минобрнауки РФ (Соглашения № 14.604.21.0046 и 14.604.21.0100) и Российского научного фонда (Соглашение № 14-27-00022).

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ САЖИ ПО РАЗМЕРАМ В СУБМИКРОННОМ ПРИЗЕМНОМ АЭРОЗОЛЕ

В.С. Козлов<sup>1</sup>, М.В. Панченко<sup>1</sup>, В.П. Шмаргунов<sup>1</sup>, Д.Г. Чернов<sup>1</sup>, А.С. Козлов<sup>2</sup>, С.Б. Малышкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, vkozlov@iao.ru*

<sup>2</sup>*Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Оценки радиационно-значимых характеристик, определяющих климатическое воздействие атмосферного аэрозоля, нуждаются в знании особенностей сезонной изменчивости распределения сажи (Black Carbon) по размерам в субмикронном аэрозоле. В работе анализируются результаты мониторинговых измерений распределений сажи по размерам в приземном слое воздуха, выполненных на Аэрозольной станции ИОА СО РАН (г. Томск, Академгородок) в 2014 г.

Измерения производились с помощью лабораторного макета (спектрометра), в котором селекция частиц осуществлялась 8-каскадной диффузионной батареей сетчатого типа. Аэталометром на каждом каскаде измерялась массовая концентрация сажи. Длительность единичного цикла составляла 1,3 ч, в течение месяца измерялось около 180 спектров. Распределения ВС по размерам вычислялись в приближении одномодальной лог-нормальной функции в диапазоне диаметров частиц 10–1000 нм. Рассчитаны параметры среднемесячных распределений сажи по размерам: объемные медианные диаметры, полуширины распределений и амплитуды.

Анализ показал, что при переходе от зимы к лету наблюдается монотонное изменение параметров распределения сажи, свидетельствующее о возможности количественной параметризации годового хода распределения ВС по размерам. В межсезонной динамике проявляется устойчивое уменьшение объемного медианного диаметра сажи от 240 до 174 нм (в 1,4 раза) и сильное убывание (в 3,6 раза) амплитуды распределения, пропорциональное вариациям полной концентрации ВС. Отмеченная динамика сопровождается сужением функции распределения, значения полуширины уменьшаются в среднем от 0,71 до 0,55.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки (Соглашение № 14.604.21.0100), проекта 12.2 ОНЗ РАН, грантов РФФИ № 12-05-00395, 14-05-93109 НЦНИЛ.



## СОПОСТАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРОВ ВАРИАЦИЙ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА ВОЗДУШНЫХ МАСС В ПОДМОСКОВЬЕ И РАЙОН г. ТОМСКА

А.А. Исаков, А.В. Тихонов

*Институт физики атмосферы РАН, г. Москва, Россия, A.A.Isakov@mail.ru*

В работе [1] мы коснулись вопроса о периодичности направлений прихода воздушных масс в Подмосковье. Там было показано, что частота прихода масс с ряда направлений подвержена периодическим вариациям, причем период этих вариаций для направлений Балтика–Атлантика составляет либо около пятидесяти дней (до 2005 г.), либо около восьмидесяти (2005–2010 гг.). Мы провели сопоставление закономерностей Подмосковья и г. Томска. Подход к анализу направлений прихода воздушных масс в район г. Томска был, тот же, что и для Подмосковья. Так же, как и в [1], все возможные направления были разбиты на восемь равных секторов. Связь направлений с конкретными географическими регионами следующая: 8 и 1 – Арктика, 2 – Восточная Сибирь, 3 – Алтай, 4 – Средняя Азия, 5 – Балхаш, 6 – Арал, 7 – Средний Урал. Трехсуточные обратные траектории рассчитывались с помощью программы HYSPLIT. Временной интервал между траекториями – 24 ч, высота прихода в район Томска – 100 м. Мы проанализировали данные трех лет – 2004, 2007 и 2010 гг. Выбор этих годов основывался на результатах вейвлетного анализа наших данных по массовой концентрации приземного аэрозоля  $M$  в Подмосковье. Использовалась схема [1]. Для каждого сектора строились скользящие средние временных разверток появления данного сектора. Максимумы на кривой среднего соответствовали максимальной частоте появления данного сектора. Анализ показал.

1. Обратные траектории для региона Томска заметно более плавные, нежели для Подмосковья.

2. Основная масса траекторий сосредоточена в западных секторах от 5-го по 8-й. На сектора 1–3 в 2004 г. приходятся единичные случаи, поэтому осреднить их частоту появления не представлялось возможным.

3. В 2004 г. для западных секторов удалось выявить квазипериодичность с короткими, порядка десяти дней периодами, долгопериодные вариации не просматривались. В 2007 г. для седьмого сектора проявились вариации с тем же, что и для Подмосковья периодом – около 80 дней. В 2010 г. в седьмом секторе квазипериодические колебания проявились, период вариаций составил около пятидесяти дней, и картина оказалась сходной с таковой для Подмосковья.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований фундаментальных исследований (проекты № 12-05-00938, 13-05-00956).

1. Исаков А.А., Тихонов А.В. Связь параметров аэрозоля Центральной России с воздушными массами // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 3. С. 192–196.

## АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ВИДИМОГО И ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОРАССЕЯНИЯ В ЛОКАЛЬНОМ ОБЪЕМЕ

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

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

Предложен пятифакторный регрессионный алгоритм расчета коэффициентов аэрозольного ослабления видимого и ИК-излучения с помощью входных параметров, измеряемых в локальном объеме. Независимой переменной регрессии выступали спектральные коэффициенты аэрозольного ослабления  $\beta(\lambda)$  в диапазоне длин волн  $\lambda$  от 0,5 до 4 мкм. Массив  $\beta(\lambda)$  получен из измерений спектрального пропускания атмосферы на горизонтальной протяженной трассе длиной 1 км. Предикторами корреляционного уравнения выступали характеристики светорассеяния, измеряемые в локальном объеме в видимой области спектра: коэффициенты рассеяния  $\beta_s(\varphi)$ , измеряемые под углами  $\varphi$  – 1,2; 15 и 45°, а также коэффициенты поглощения аэрозольного вещества  $M_s$ .

Параметр  $\beta_s(45)$ , измеряемый с помощью активного спектрофелометра под углом 45°, отслеживал вариации субмикронного аэрозоля и обеспечивал в модели изменчивость спектральной зависимости коэффициентов  $\beta(\lambda)$  в диапазоне длин волн от 0,45 до 1,06 мкм. Предиктор  $\beta_s(1,2)$ , измеряемый с помощью ореольного фотометра под углом 1,2° служил входным параметром, отражающим изменчивость грубодисперсного аэрозоля и отвечающий в регрессионной модели за квазинейтральную спектральную зависимость величины  $\beta(\lambda)$ . Параметр  $\beta_s(15)$  в основном отвечал за неселективное поведение аэрозольного ослабления в спектре от 1,06 до 3,9 мкм.

Предиктор  $M_s$  дополнял статистическую модель и связан в основном с поглощением субмикронного аэрозоля. Кроме того для зимних условий при температуре воздуха  $t < -15$  °C модель была дополнена членом, связанным с появлением в воздухе частиц ледяного тумана.

## МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОРЕОЛЬНОЙ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЙНИЯ

Вас.В. Польшкин

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

На протяжении ряда лет с января 2010 г. по настоящее время на аэрозольной станции ЛОА ИОА СО РАН с помощью полностью автоматизированного ореольного фотометра закрытого объема [1, 2] выполняются регулярные круглосуточные измерения ореольной индикатрисы рассеяния на длине волны 650 нм для углов рассеяния  $1,2 \div 20^\circ$ .

В работе анализируется межгодовая, сезонная изменчивость и суточные вариации ореольной индикатрисы, оценивается влияние на сигнал метеорологических и синоптических параметров. Для оценки временной вариации функции распределения частиц аэрозоля по размерам использовался метод решения обратных задач [3].

Работа выполнена при поддержке проекта № 4.5 ПФИ Президиума РАН «Исследование долговременных изменений компонент воздуха, определяющих изменение радиационных характеристик атмосферы».

1. Шмаргунов В.П., Польшкин В.В., Тумаков А.Г., Панченко М.В., Польшкин Вас.В. Ореольный фотометр закрытого объема // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 6. С. 155–157.
2. Польшкин Вас.В., Польшкин В.В., Шмаргунов В.П., Тумаков А.Г., Панченко М.В. Ореольный фотометр закрытого типа // Патент России на полезную модель № 142875. Патентообладатель: ИОА СО РАН.
3. Свириденков М.А., Польшкин Вик.В., Польшкин Вас.В., Шмаргунов В.П. Восстановление микроструктуры крупнодисперсной фракции аэрозоля по данным ореольного нефелометра закрытого объема // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Сборник докладов XIX Международного симпозиума [Электронный ресурс – 1 CD-ROM]. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2013. С. 58–61.

## САМОЛЕТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЯ И САЖИ В ТРОПОСФЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

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

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

Корректные оценки радиационно-климатических изменений в субарктических регионах и Арктике нуждаются в знании пространственно-временной изменчивости содержания аэрозоля и сажи в тропосфере. 15–17 октября 2014 г. в рамках Российско-Французского проекта YAK-AEROSIB выполнен цикл полетов самолета-лаборатории ИОА СО РАН ТУ-134 «Оптик» в районах Западной Сибири и Российской Арктики ( $55,0$ – $75,2^\circ$  с.ш.,  $61,3$ – $82,9^\circ$  в.д.). В четырех полетах по маршруту Новосибирск–Салехард–Карское море–Салехард–Карское море–Салехард–Новосибирск выполнялись измерения массовых концентраций субмикронного аэрозоля и сажи. По результатам зондирования для маршрутных участков получены пространственные вертикальные разрезы аэрозольных характеристик до высоты 8,5 км.

Предварительный анализ полученных результатов показал, что в полном цикле полетов (включая проведенные в средних широтах) пределы вариаций концентраций аэрозоля и сажи достаточно широки и составили  $0,3 \div 20$  и  $0,02 \div 0,6$  мкг/м<sup>3</sup> соответственно. Однако в приполярных широтах – севернее Салехарда ( $66,6^\circ$  с.ш.) в вертикальных профилях наблюдались более низкие уровни содержания аэрозоля ( $0,8 \div 6$  мкг/м<sup>3</sup>) и сажи ( $0,02 \div 0,3$  мкг/м<sup>3</sup>). Также в вертикальных профилях отчетливо проявились максимумы концентраций на высотах 4–5 км.

Проводится сопоставление полученных вертикальных профилей с данными полетов в 2008 г. в приполярных широтах по программе POLARCAT. Анализируется динамика интегральных концентраций сажи и аэрозольной толщи рассеяния АОТ по столбу атмосферы, а также вертикальных профилей относительного содержания сажи и альбедо однократного рассеяния частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 14-05-93109 НЦНИЛ, 12-05-00395, проекта 12.2 ОНЗ РАН.

## ВЛИЯНИЕ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ АЭРОЗОЛЯ В ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОМЕТРИИ

В.В. Веретенников, С.С. Меньщикова

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

Представлены результаты численного моделирования и натуральных экспериментов по определению микроструктуры аэрозоля из решения обратной задачи солнечной фотометрии при вариациях положения максимальной длины волны  $\lambda_{\max}$ , на которой выполнены измерения спектрального пропускания атмосферы. В численном эксперименте использовалась модель дисперсной среды, образованной двумя фракциями частиц, субмикронной ( $f$ ) и грубодисперсной ( $c$ ). Варьирование соотношения между фракциями позволяло изменять форму моделируемого распределения в широких пределах. Величина  $\lambda_{\max}$  выбиралось в интервале от 1,052 до 3,973 мкм. Решение обратной задачи выполнялось с использованием модифицированного алгоритма метода интегральных распределений [1]. Результаты моделирования показывают, что наиболее подвержены влиянию выбора  $\lambda_{\max}$  микроструктурные параметры частиц  $c$ -фракции. В частности установлено, что при уменьшении спектрального диапазона происходит трансформация восстановленного распределения, при которой наблюдается заметное снижение объемной концентрации частиц  $c$ -фракции при одновременном незначительном увеличении содержания субмикронных частиц. При  $\lambda_{\max} = 1,052$  мкм ошибка восстановления объемной концентрации  $c$ -фракции достигает от 32 до 61% в зависимости от соотношения между концентрациями двух фракций.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-4714.2014.5.

1. Веретенников В.В., Меньщикова С.С. Особенности восстановления микроструктурных параметров аэрозоля из измерений аэрозольной оптической толщины. Часть I. Методика решения обратной задачи // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26, № 4. С. 306–312.

## СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В ГОРОДСКИХ И ФОНОВЫХ УСЛОВИЯХ ДЛЯ ЛЕТА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.Н. Щелканов, Ю.А. Пхалагов, В.Н. Ужегов

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

Проведено сравнение коэффициентов аэрозольного ослабления для приземного слоя атмосферы в городских (Академгородок, г. Томск) и фоновых (п. Киреевск, Томская обл.) условиях Западной Сибири. Сравнение коэффициентов аэрозольного ослабления проводилось на основе синхронных данных, полученных в июле–августе 2014 г. на длинах волн 0,55 и 1,06 мкм. Для сравнения использовались коэффициенты аэрозольного ослабления со значениями меньше  $0,5 \text{ км}^{-1}$ .

Результаты измерения показали, что в Киреевске значения коэффициентов аэрозольного ослабления (и их СКО) на длинах волн 0,55 и 1,06 мкм составили 0,24 (0,09) и 0,14 (0,06)  $\text{км}^{-1}$ , в Томске – 0,19 (0,08) и 0,08 (0,04)  $\text{км}^{-1}$ . При этом разности между коэффициентами аэрозольного ослабления на длинах волн 0,55 и 1,06 мкм (и их СКО) для Киреевска и Томска составили 0,10 (0,045) и 0,11 (0,048)  $\text{км}^{-1}$ .

Главной причиной существенного превышения коэффициентов аэрозольного ослабления в фоновых условиях, по сравнению с городскими условиями, является наличие большого количества гнуса (комаров, мошек, мокрецов, москитов и слепней) на измерительной трассе в летний период года. Вклад гнуса, представляющего собой грубодисперсный аэрозоль, в коэффициент аэрозольного ослабления в среднем составил  $\sim 0,06 \text{ км}^{-1}$ .

Для Томска и Киреевска незначительное отличие разностей между коэффициентами аэрозольного ослабления на длинах волн 0,55 и 1,06 мкм (0,11 и 0,10  $\text{км}^{-1}$ ), пропорциональные концентрациям субмикронного аэрозоля, говорит о небольшом (в среднем  $\sim 10\%$ ) антропогенном вкладе города в эту компоненту аэрозольного ослабления.

## СУБЛИМАЦИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Ю.А. Пхалагов<sup>1</sup>, В.Н. Ужегов<sup>1</sup>, В.П. Шмаргунов<sup>1</sup>, П.М. Нагорский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы имени В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [pkhalagov@iao.ru](mailto:pkhalagov@iao.ru)

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

К числу интересных физических процессов, редко наблюдаемых в реальной атмосфере, можно отнести процесс испарения снега, при котором происходит переход вещества из твердой фазы (снег, лёд) непосредственно в пары воды, минуя промежуточную жидкую фазу. Подобный процесс наблюдался нами при проведении комплексных исследований оптических и электрических параметров приземной атмосферы в районе Томского Академгородка в первой декаде ноября 2013 г. Было, в частности, замечено, что выпавший 3 ноября снег, 4 ноября полностью исчез, а подстилающая поверхность при этом осталась совершенно сухой. Это последнее обстоятельство позволяет предположить, что в данном случае в натуральных условиях реализовался процесс сублимации снега. Представляло интерес выяснить, как влияет процесс сублимации снега на оптические и электрические характеристики приземной атмосферы. Для решения этой задачи были привлечены синхронно измеренные данные по спектральному пропусканию атмосферы  $T(\lambda)$  в области длин волн  $\lambda = 0,50\text{--}3,9$  мкм, напряженности атмосферного электрического поля ( $E$ ), а также концентрации положительных и отрицательных ионов ( $N_{+/-}$ ) в атмосфере.

Выявлено, что усредненный временной ход напряженности электрического поля имеет хорошо выраженный минимум, приходящийся на период сублимации снега. Это означает, что процесс испарения снега, возможно, имеет электрическую природу.

## РАССЕЯНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА ПЛОТНОЙ УПАКОВКОЙ ОПТИЧЕСКИ «МЯГКИХ» СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

Л.Е. Парамонов

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Южное отделение,  
г. Геленджик, Россия, [lparamonov@yandex.ru](mailto:lparamonov@yandex.ru)

Рассматривается задача рассеяния света оптически «мягкими» хаотически ориентированными неоднородными сферическими частицами с неконцентрическими сферическими включениями и элементарным объемом оптически «мягких» сферических частиц плотной упаковки. Приводятся аналитические выражения для коэффициентов Фурье разложения индикатрисы рассеяния по полиномам Лежандра.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 13-05-00618-а, 13-05-01036-а).

## ОЦЕНКА СЕЧЕНИЙ ОСЛАБЛЕНИЯ, РАССЕЯНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИАЛЬНО НЕОДНОРОДНЫХ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Л.Е. Парамонов

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Южное отделение,  
г. Геленджик, Россия, [lparamonov@yandex.ru](mailto:lparamonov@yandex.ru)

Ранее в [1] доказано, что в приближениях Релея–Ганса–Дебая (РГД) и аномальной дифракции (АД) однородные хаотически ориентированные эллипсоидальные частицы оптически эквивалентны полидисперсным хаотически ориентированным сфероидальным частицам и полидисперсным сферическим частицам, на основе оптической эквивалентности проведена оптическая классификация изотропных ансамблей эллипсоидальных частиц. В приближении РГД сформулированы достаточные условия оптической эквивалентности радиально неоднородных эллипсоидальных и радиально неоднородных сферических частиц [2].

В настоящей работе показано, что и в приближении АД имеет место оптическая эквивалентность неоднородных эллипсоидальных и сферических частиц. Корректность полученных результатов иллюстрируется расчетами с использованием метода Т-матриц и теории Ми. Обсуждается приложение полученных результатов при решении ряда задач оптики атмосферы и океана.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 13-05-00618-а, 13-05-01036-а).

1. Парамонов Л.Е. // Оптика и спектроскопия. 2012. Т. 112, № 5. С. 842–850.
2. Парамонов Л.Е., Сорокина О.В. Разложение индикатрисы рассеяния оптически «мягких» хаотически ориентированных эллипсоидальных частиц в ряд по полиномам Лежандра // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 5. С. 412–416.

## СЦЕНАРИИ КОНВЕРСИИ ГАЗ–ЧАСТИЦА В АТМОСФЕРЕ

А.А. Лушников

*Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия*

Хотя уже много десятилетий назад было ясно, что за образование наночастиц в атмосфере ответственна спонтанная нуклеация, и хотя усилия в создании теории этого процесса не прекращены до сих пор, ясности, откуда берутся атмосферные наночастицы нет и сегодня. Единственный механизм, который предлагался (и продолжает рассматриваться) – это спонтанная нуклеация. Соответствующая теория основана на древней идее, что образование частиц лимитируется флуктуационными процессами, скорость которых может быть посчитана с помощью хорошо известных формул статистической механики.

В этом докладе излагается другая идея: образование наночастиц не следует единственному сценарию. Цель этого доклада – представить все (по мнению автора) возможные пути образования наночастиц. Это: безбарьерная нуклеация, образование частиц через связанные состояния конденсирующегося газа с молекулами газаносителя, флуктуационный механизм (критическое пересыщение возникает локально за счет флуктуаций плотности), нуклеация идет за счет возникновения заряженных центров в результате воздействия космического излучения. Все эти проблемы мало исследованы и представляют вызов для нового поколения исследователей.

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

## **ОЦЕНКА ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И МЕТАНА В ЛИТОРАЛИ ЮЖНОГО БАЙКАЛА**

Д.А. Пестунов<sup>1</sup>, А.М. Шамрин<sup>1</sup>, В.М. Домышева<sup>2</sup>, М.В. Сакирко<sup>2</sup>, В.Г. Иванов<sup>2</sup>, М.В. Панченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, pest@iao.ru*

<sup>2</sup>*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Для количественной оценки газообмена углеродосодержащих газов воды оз. Байкал с атмосферой необходимо проведение продолжительных измерений потоков газов в характерных точках по всей акватории. В августе 2014 г. комплексные исследования газообмена были приурочены к литорали южного Байкала. С борта научно-исследовательского судна «И.Д. Папанин» нами были проведены посуточные измерения парциальных давлений углекислого газа и метана в поверхностной воде и приземной атмосфере на прибрежных станциях в районе пос. Боярский, Танхой, Байкальск, Култук, ст. Маритуй, на мысе Кадильный и на переходах между ними. На некоторых станциях прямые измерения потока осуществлялись посредством полупогружной камеры. В докладе приводятся временные и пространственные развертки разницы парциальных давлений в атмосфере и в воде. Проводится сопоставление с результатами измерений в Байкальской атмосферно-лимнологической обсерватории (в районе пос. Большие Коты).

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН № 11, экспедиционных грантов СО РАН, грантов РФФИ № 14-05-00277а, 08-05-00258а.

## **ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ОЗЕРАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРИОД 2011–2014 гг.**

И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.Б. Акулова, У.И. Янковская

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия, akulova8282@mail.ru*

Результаты измерений спектральной прозрачности (коэффициента пропускания –  $T$ , %) и температуры воды ( $t$ , °С) трех разнотипных озер юга Западной Сибири – Лапа, Красиловское и Большое Островное (Алтайский край) в период 2011–2014 гг. показали, что наибольшие значения  $T$  наблюдались на оз. Большое Островное (среднее значение  $T$  за исследуемый период равно 77,45% при толщине слоя 10 мм), по сравнению с двумя другими озерами (для оз. Лапа и Красиловское его величина составила 92,70 и 94,80% соответственно). Это обусловлено колебаниями температуры воды и, как следствие, изменением концентрации хлорофилла  $a$  в клетках водорослей фитопланктона озер. Неравномерное вертикальное распределение  $t$  в озере летом связано с прямой термической стратификацией, зимой – с обратной стратификацией, что характерно для водоемов умеренных широт. В целом для этого мелководного, гиперэвтрофного озера (Большое Островное) значения  $T$  в диапазоне длин волн 400–800 нм зимой (в феврале), весной, до (в марте) и после (в мае) вскрытия льда, летом (в июле–августе) и осенью (в октябре) до ледостава существенно больше, чем в двух других озерах. Это, на наш взгляд, обусловлено изменением размеров частиц органико-минеральной взвеси и их счетной концентрацией, а также наличием и динамикой желтого вещества в различные сезоны года.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ ВКЛАД КОМПОНЕНТОВ ОЗЕРНОЙ ВОДЫ В ПОКАЗАТЕЛЬ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР АЛТАЙСКОГО КРАЯ)

О.Б. Акулова, В.И. Букатый, И.А. Суторихин

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия, akulova8282@mail.ru*

Рассматривается влияние основных компонентов озерной воды, включая чистую воду, хлорофилл, желтое вещество, органико-минеральную взвесь, на спектральное ослабление света (на длинах волн 430, 550 и 670 нм) в поверхностном слое трех пресноводных водоемов Алтайского края (Лапа, Красиловское и Большое Островное) в различные сезоны 2014 г. Используемые длины волн 430 и 670 нм характеризуются максимальным поглощением хлорофиллом в данном спектральном диапазоне, а длина волны 550 нм соответствует области высокой прозрачности исследуемой озерной воды. Во всех водоемах основной максимальный вклад в показатель ослабления света ( $\epsilon$ ,  $\text{м}^{-1}$ ) вносит взвесь. Наибольший вклад взвеси в общее ослабление при  $\lambda = 430$  нм (зимой) приходится на оз. Красиловское, где он составляет более 70% и на оз. Большое Островное (весной) – 79%. Желтое вещество дает максимальный вклад в  $\epsilon$  (зимой) на озерах Лапа, Большое Островное и составляет 36,5 и 35,3% соответственно. Весной вклад желтого вещества (оз. Лапа) возрастает до 59% при  $\lambda = 430$  нм. Чистая вода вносит несущественный вклад в ослабление света (при  $\lambda = 430$  нм) во всех водах и составляет не более 0,1%, но резко увеличивается в длинноволновой области (16% оз. Лапа, 11,5% оз. Красиловское при  $\lambda = 670$  нм). Вклад хлорофилла в  $\epsilon$  максимален зимой только для оз. Большое Островное (10,2%) и на порядок выше, чем на оз. Лапа (0,9%), а весной и летом для оз. Красиловское – 17,4 и 35,1% соответственно, при  $\lambda = 430$  нм. Молекулярное рассеяние света чистой водой в исследуемом спектральном интервале не вносит ощутимый вклад и составляет менее 0,1%.

Исследования оптических свойств поверхностного слоя трех озер показали, что наибольшие значения показателя ослабления света наблюдаются на гиперэвтрофном оз. Большое Островное по сравнению с двумя другими озерами (оз. Лапа и Красиловское). Это обусловлено, прежде всего, высоким содержанием взвеси и желтого вещества, а также колебаниями температуры воды и, как следствие, изменением концентрации хлорофилла в фитопланктоне озер.

## СРАВНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО/НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И СУММАРНОГО БЕЛКА В АТМОСФЕРНОМ АЭРОЗОЛЕ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРИОД ИНТЕНСИВНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И В ИХ ОТСУТСТВИИ

Г.А. Буряк<sup>1</sup>, А.С. Сафатов<sup>1</sup>, С.Е. Олькин<sup>1</sup>, И.К. Резникова<sup>1</sup>, В.И. Макаров<sup>2</sup>, С.А. Попова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор», г. Кольцово, Новосибирская обл., Россия, buryak@vector.nsc.ru

<sup>2</sup>Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Обширные лесные пожары летом 2012 г. привели к экстремальному загрязнению воздуха на юге Западной Сибири. В работе представлены результаты исследования проб атмосферного аэрозоля, отобранного в 2012, 2013 и 2014 гг. летом – в начале осени в пос. Синеморье (координаты 54°26,4' с.ш., 82°18,3' в.д.); их сравнение для года, когда наблюдались интенсивные лесные пожары, и для лет, когда таких пожаров не было.

Суточный пробоотбор осуществлялся на волокнистые и стекловолоконные фильтры. Масса осажденного аэрозоля определялась гравиметрическим методом. Концентрации органического и элементного углерода определялись реакционной газовой хроматографией, а суммарного белка – с использованием флуоресцентного красителя.

Обнаружено, что для средних значений полной массовой концентрации аэрозоля и суммарного белка в ней при интенсивных пожарах рост по сравнению с таковыми концентрациями в соответствующий период года без лесных пожаров незначителен. Для средних концентраций органического и неорганического углерода в атмосферном аэрозоле их рост в период лесных пожаров 2012 г. превосходит четырехкратное значение по сравнению с концентрациями в тот же период без лесных пожаров.

Таким образом, интенсивные лесные пожары на юге Западной Сибири проявляются в значительном росте концентраций органического и неорганического углерода в атмосферном аэрозоле, слабо увеличивая саму полную массовую концентрацию аэрозольных частиц и долю суммарного белка в ней.

Работа выполнена при частичной поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 35.

## КОМПЛЕКСЫ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

И.Г. Воробьева, Т.В. Теплякова, А.С. Сафатов, Г.А. Буряк

ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор», г. Кольцово,  
Новосибирская обл., Россия, safatov@vector.nsc.ru

Микроскопические грибы (микромитеты), являясь неотъемлемой частью атмосферного аэрозоля [1], способны вызывать инфекционные процессы человека, животных и растений. Поэтому важно контролировать их концентрацию и разнообразие в атмосфере. Ранее нами были представлены результаты наблюдений, выполненных в 2006–2009 гг. [1]. Целью настоящей работы является получение новых данных о концентрации и разнообразии грибов в атмосферном аэрозоле юга Западной Сибири.

Выявление и анализ микромитетов в образцах атмосферного воздуха, взятых в высотных и наземных экспериментах, проводили культуральными методами, описанными ранее [1].

Представлены результаты, полученные в последние годы, и проведено их сопоставление с представленными в литературе данными. Показано, что максимальная численность микромитетов зарегистрирована в лето, минимальное – осенью–зимой, что согласуется с литературными данными. В период вегетации наблюдается преобладание непигментированных изолятов, представленных, в основном, мицелиальными культурами. К концу вегетации увеличивается доля пигментированных микромитетов, в том числе грибов родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium*, что согласуется с сезонной динамикой видов, обилие которых возрастает в вегетационный период.

1. Сафатов А.С., Теплякова Т.В., Белан Б.Д., Буряк Г.А., Воробьева И.Г., Михайловская И.Н., Панченко М.В., Сергеев А.Н. Концентрация и изменчивость состава микромитетов в атмосферном аэрозоле юга Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22, № 9. С. 901–907.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ОЗОНА С УЧЕТОМ АЭРОЗОЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ

А.А. Невзоров, А.В. Невзоров, О.А. Романовский

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

Приводятся некоторые результаты восстановления профилей озона с учетом аэрозольной коррекции [1, 2] на парах длин волн 299/341 нм, полученных из данных лидарных измерений 2013 и 2014 гг. Также в нем приводятся описание работы программы, в которой для уменьшения ошибок восстановления введена температурная коррекция коэффициентов поглощения [3]. При больших значениях аэрозольного наполнения атмосферы обратное аэрозольное рассеяние в несколько раз превышает молекулярное, что при неучтенных рассеивающих и ослабляющих свойствах атмосферы на зондирующих длинах волн 299/341 нм дает существенные искажения восстановленного озонового профиля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Миннауки и Образования (Соглашение № 14.604.21.0100), Российского научного фонда (Соглашение № 14-27-00022) и гранта президента РФ по поддержке ведущих научных школ (НШ – 4714.2014.5).

1. Бондаренко С.Л., Ельников А.В., Зуев В.В. Влияние оптических характеристик аэрозоля на результаты лазерного зондирования озона при аэрозольной коррекции исходных данных // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6, № 10. С. 1268–1277.
2. Маричев В.Н., Ельников А.В. О методе лазерного зондирования атмосферного озона на длинах волн 308 и 532 нм // Оптика атмосферы и океана. 1988. Т. 1, № 5. С. 77–82.
3. Zhu H., Qu Z.W., Grebenshchikov S.Y. et al. The Huggins band of ozone: Assignment of hot bands // J. Chemical Physics. 2005. V. 122, iss. 2. 024310. DOI: 10.1063/1.1825380.



## ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ НАХОЖДЕНИЯ ОДНОРОДНОГО СЛОЯ ВОЗДУХА НА ОСЛАБЛЕНИЕ УХОДЯЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

С.А. Шишигин

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

Техногенное увеличение содержания парниковых газов в приземном слое атмосферы через определенный промежуток времени распространяется не только в нижней атмосфере, но обнаруживается во всей толще атмосферы [1]. Наибольшая изменчивость парниковых газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  наблюдается в пограничном слое, она в 2–3 раза выше, чем в остальной атмосфере.

Рассматривается модель атмосферы в виде однородных слоев. Определяется вклад в изменение выходных сигналов радиометра в спектральных участках 1238,690–1238,730, 1240,980–1241,020, 1240,901–1240,949  $\text{cm}^{-1}$  от увеличения содержания метана в слое в зависимости от высоты нахождения данного слоя. Наблюдается увеличение и выравнивание ослабления уходящего излучения в первых двух спектральных участках на линиях поглощения метана, с увеличением высоты нахождения поглощающего слоя до высот 12 км. В крыле линии поглощения метана (1240,901–1240,949  $\text{cm}^{-1}$ ) ослабление уходящего излучения Земли вначале возрастает от увеличения содержания метана в 1-км слое до высоты 6–7 км, а затем ослабление излучения уменьшается. Это обусловлено изменением параметров спектральных линий поглощения с расстоянием от поверхности Земли. Уходящее излучение уменьшается с повышением концентрации поглощающих газов в воздухе, особенно в верхних слоях атмосферы. Насыщение поглощения в линиях поглощения газа и снижения поглощения излучения в крыльях линий поглощения приводит к снижению парникового эффекта газа в слоях атмосферы выше 12 км.

1. *Аришинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Креков Г.М., Фофонов А.Ф., Бабченко С.В., Inoue G., Machida T., Maksutov Sh., Sasakawa M., Shimoyama K.* Динамика вертикального распределения парниковых газов в атмосфере // *Оптика атмосферы и океана*. 2012. Т. 25, № 12. С. 1051–1061.

## ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

С.А. Шишигин

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

Парниковый эффект обусловлен различной прозрачностью атмосферы в видимом и дальнем инфракрасном диапазонах. Следствием парникового эффекта является сглаживание температурных контрастов как между полярными и экваториальными зонами планеты и между дневными и ночными температурами. Количественно величина парникового эффекта Земли  $\sim 39$  К определяется как разница между средней приповерхностной температурой атмосферы планеты  $\sim 288$  К и ее эффективной температурой уходящего излучения  $\sim 249$  К.

В отличие от парниковых газов, типичный срок существования аэрозолей в атмосфере не превышает нескольких дней. Поэтому их радиационный эффект быстро реагирует на изменения эмиссии загрязнений и столь же быстро прекращается.

Основными парниковыми газами, в порядке их оцениваемого воздействия на тепловой баланс Земли, являются водяной пар, углекислый газ, метан и озон. Главный вклад в парниковый эффект земной атмосферы вносит водяной пар или влажность воздуха тропосферы, находящийся в приземном слое атмосферы.

В больших многокомпонентных системах между временем наступления причины и следствия существует определенное запаздывание. Мгновенные и среднемесячные радиационные потоки на внешней границе атмосферы есть результат сложного взаимодействия многих приповерхностных и атмосферных процессов. Вследствие комплексного воздействия на перенос излучения характеристик облачности, газового состава и стратификации атмосферы невозможно осуществить прямой мониторинг климатических изменений только специализированными измерениями радиационного баланса Земли.

## РОЛЬ АГРЕССИВНОЙ ГРУППЫ МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ЛАНДШАФТА НЕФТЬЮ

Л.И. Сваровская, И.Г. Яценко, Л.К. Алтунина

*Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия, sli@ipc.tsc.ru*

Трансформация нефти и нефтепродуктов при аварийных ситуациях и загрязнении ландшафтов сложны и длительны. Изливаясь на поверхность почвы, часть нефти в летний период, активно испаряется и в виде аэрозолей переносится на значительные расстояния, загрязняя атмосферу, почву воду и растительность. Другая часть нефти, загрязняющей почву, мигрирует по горизонтали и вертикали, подвергается биодеструкции, сорбции, эмульгированию и другим преобразованиям. Загрязнение нефтью вызывает гибель одни микроорганизмов и увеличивает численность и активность других. Размножение агрессивных групп микроорганизмов, в том числе сульфатредуцирующих и тионовых, продуцирующих сероводород, серную кислоту, углекислоту, карбоновые кислоты и другие продукты жизнедеятельности, способствуют развитию процессов разрушения железобетонных гидросооружений и интенсивной коррозии нефтепромыслового оборудования.

Причиной разрушения служит совместное действие химических и микробиологических процессов выщелачивания железа, алюмо-силикатов, кальция и магния, входящих в состав цемента). На Усть-Балыкском месторождении, эксплуатируемом ОАО «Юганскнефтегаз», с 1994 по 1998 г. произошло 1084 различных порывов трубопроводов. На загрязненной территории в районах Кратер – Ср. Балык и Магистральная – Ср. Балык в результате аварий было разлито более 1000 м<sup>3</sup> подтоварной воды и 2,5 т нефти на площади 1100 м<sup>2</sup>. Железобетонные основания высоковольтных линий электропередач на загрязненном участке были подвергнуты разрушению. Микробиологический анализ проб загрязненной воды, почвы и крошки от железобетонных конструкций показал быстрое размножение сульфатредуцирующих и тионовых микроорганизмов, представленных миллионами клеток. В результате накопления биомассы деструктивные процессы железобетонных сооружений принимают масштабный характер и создают чрезвычайную ситуацию.

## МОНИТОРИНГ ПОТОКОВ МЕТАНА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ТЕРРИТОРИИ БАКЧАРСКОГО БОЛОТА В ТЕПЛЫЙ СЕЗОН 2014 г.

О.А. Краснов<sup>1</sup>, М.Ю. Аршинов<sup>1</sup>, Д.К. Давыдов<sup>1</sup>, А.В. Фофонов<sup>1</sup>, Ш. Максютгов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, alenfo@iao.ru*

<sup>2</sup>*National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan*

Рассматриваются потоки (эмиссия – сток) углекислого газа и метана в фоновых условиях болотных экосистем (Бакчарский участок Васюганских болот). Измерения этих параметров важны при изучении изменений климата, оценки бюджета углерода и процессов, протекающих в биосфере Земли. Одним из способов изучения потоков CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> из почвы, является метод статических камер [1]. Описываемые нами измерения проводились круглосуточно в автоматическом режиме в теплый период года (май–октябрь). На частично мелиорированном участке болота в районе пос. Плотниково (Бакчарский район Томской области) было установлено 6 камер на различных типах растительности с отличающимся режимом водоснабжения. Методика обработки данных измерений связана с такими видами работ как калибровка, удаление тренда, выделение участков времени в режиме закрытия камер, когда происходит интенсивное изменение сигналов газоанализаторов за счет эмиссии/стока CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в исследуемом объеме на границе почва – атмосфера. В докладе рассматриваются особенности измерений и обработки данных газовых потоков, полученных с использованием статических камер, приводятся результаты мониторинга в сезоне 2014 г. Также, обсуждаются взаимосвязи флуктуаций потоков CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> за счет изменений в условиях освещенности, температуры воздуха и почвы, уровня поверхностных вод.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131, грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590, 14-05-93108, госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 (RFMTFIBBB210290), 14.613.21.0013 (RFMEFI61314X0013), Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

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

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Т.О. Перемитина, И.Г. Яценко

*Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия, peremitinat@mail.ru*

Разработан комплексный подход к оценке воздействия антропогенных и природных факторов на окружающую среду нефтегазодобывающих территорий на основе наземных и дистанционных исследований. Наземные исследования включают в себя исследования загрязнения воды и донных осадков, почв и растительности, процессов самоочищения водных объектов, степени угнетенности растительного покрова, количества и состава микрофлоры. Дистанционные исследования позволяют оценить площади нефтезагрязнений, объемы смывов и испарившихся углеводородов с нефтезагрязненных земель, загрязнение атмосферы при тепловом воздействии, состояние растительного покрова.

Для проведения исследований сформирована коллекция тематических продуктов, созданных зарубежными специалистами по результатам обработки космических снимков, полученных со спутника TERRA сканером MODIS и цифровых моделей рельефа. Материалы съемки MODIS имеют широкий спектр применения для исследования атмосферы, водных объектов и суши. В предлагаемом подходе используются следующие тематические продукты MODIS: MOD11A1 – температура поверхности Земли, MOD13Q1 – вегетационный индекс за 16-дневный период и MOD14A1 – данные по тепловым аномалиям. Апробация предложенной методики и оценка механических нарушений проведена для техногенно нарушенных территорий Самотлорского, Ватинского, Вахского (Ханты-Мансийский АО) и Советского (Томская область) нефтяных месторождений.

## СООТНОШЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В СОСТАВЕ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ И СРЕДНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АВИАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В НСО 2013–2014 гг.

А.С. Козлов<sup>1</sup>, С.Б. Малышкин<sup>1</sup>, Л.В. Куйбида<sup>1</sup>, А.К. Петров<sup>1</sup>, Н.Г. Воронцовская<sup>2</sup>,  
Г.С. Певнева<sup>2</sup>, А.К. Головкин<sup>2</sup>, Д.В. Симоненков<sup>3</sup>, М.Ю. Аршинов<sup>3</sup>,  
Д.К. Давыдов<sup>3</sup>, Б.Д. Белан<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт химической кинетики и горения СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, kozlov@kinetics.nsc.ru*

<sup>2</sup>*Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия*

<sup>3</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

Низколетучие органические вещества являются важным источником аэрозольных частиц субмикронного размера в атмосфере, вещества образуют частицы в процессе конденсации, либо поглощаются поверхностью уже существующих аэрозольных частиц, и таким образом непосредственно влияют на оптические, химические, токсические и другие свойства частиц всего размерного диапазона. Существенным органическим компонентом аэрозоля являются предельные (насыщенные) углеводороды, в частности, углеводороды нормального строения (линейные).

Отбор проб аэрозоля проводился с борта самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик» в двух высотных диапазонах (0,5–2 и 3–7 км) на территории Искитимского района Новосибирской области. Хромато-масс-спектрометрический анализ проводился параллельно в ЦКП Сибирский центр фотохимических исследований СО РАН и в ИХН СО РАН. Определено количественное содержание нормальных углеводородов C<sub>8</sub>–C<sub>40</sub> в пробах. Рассматривается изменение состава углеводородов с высотой, в различные сезоны и в сравнении с равновесным.

Работа выполнена при поддержке Экспедиционного гранта СО РАН (ПСО № 116 от 28 марта 2013 г.), Междисциплинарного интеграционного гранта СО РАН № 35.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕФТЕДОБЫЧИ НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОДУКТОВ MODIS

А.В. Ковалёв<sup>1</sup>, О.С. Токарева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия, Optimist93@sibmail.com

<sup>2</sup>Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия

Механические повреждения поверхности при строительстве объектов инфраструктуры, аварийные разливы нефти и нефтебурированных растворов, пожары вызывают систематическое нарушение растительного покрова на территориях нефтедобычи Западной Сибири. Эффективным способом отслеживания изменения структуры растительности является использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса на основе нормализованного вегетационного индекса (NDVI).

NDVI рассчитывается по значениям коэффициентов спектральной яркости пикселей изображения в красной и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра и имеет хорошую чувствительность к изменениям биомассы растительности. Для оценки использованы тематические продукты MODIS MOD13Q1 Vegetation Indices 16-Day Global 500m, содержащие значения вегетационного индекса NDVI, усредненные за 16 дней, предоставляемые онлайн-архивом NASA EOSDIS.

Исследования проводились на 4 участках нефтедобычи в ХМАО (Усть-Балыкское, Приобское, Самотлорское месторождения) и Томской области (Васюганская группа месторождений). В качестве фонового участка выбран фрагмент территории Юганского заповедника.

Рассчитано среднее значение NDVI по годам за период с 2000 по 2014 г. с интервалом в два года на основе тематических данных MODIS, полученных по снимкам с датами съемки 27.07–13.08 для каждой исследуемой области. Полученные средние значения NDVI по годам приведены на графиках, на основе которых построены линии трендов, отображающие характер изменения вегетационного индекса для каждой исследуемой области.

## ОБНАРУЖЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ВЫСОТНЫХ ПРОБАХ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ НАЛИЧИИ В РАЙОНЕ ОТБОРА ТОЧЕЧНОГО ЛЕСНОГО ПОЖАРА

В.А. Вечканов, И.С. Андреева, А.С. Сафатов, Г.А. Буряк,  
О.С. Мокрушина, Н.А. Соловьянова, М.А. Селиванова

ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор», г. Кольцово, Новосибирская обл., Россия,  
vechkanov\_va@vector.nsc.ru

Известно, что конвекция, вызванная горением биомассы, обеспечивает интенсивное загрязнение атмосферы как химическими и физическими факторами, так и биологической компонентой, в том числе микроорганизмами. Известны случаи, когда сожжение зараженных полей культурных растений приводит к распространению болезней растений на удаленных территориях, и в некоторых случаях речь идет о трансконтинентальном переносе. Наличие высоких концентраций микроорганизмов в атмосфере представляет потенциальную опасность для здоровья человека, так как не исключен выброс больших количеств патогенных и аллергенных микроорганизмов во время горения больших количеств биомассы. В связи с этим изучение влияния пожаров в естественной среде на количественный и качественный состав атмосферной микрофлоры является актуальной задачей на сегодняшний день.

Анализ проб, полученных в ходе самолетного зондирования атмосферы, показал, что наличие в районе отбора проб воздуха точечного лесного пожара (менее 100 м в диаметре) радикально меняет количественные и качественные характеристики биологической компоненты атмосферного аэрозоля. Практически на всех высотах, до 7000 м включительно, наблюдаются высокие концентрации жизнеспособных неспорозоносных бактерий, которые являются типичными представителями почвенной микрофлоры, и вместе с ними большое разнообразие представителей других таксономических групп. Получены данные о численном распределении микроорганизмов в атмосфере по основным исследуемым типам и экологическим группам. Определен высотный профиль концентраций для биологической компоненты атмосферного аэрозоля.

Работа выполнена при частичной поддержке междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 35.

## ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЯ ИЗ ЧАСТИЦ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ (КАЛЬЦИТА) НА ОЧИСТКУ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

В.С. Захаренко<sup>1</sup>, Е.Б. Дайбова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, Россия, [zakh@catalysis.ru](mailto:zakh@catalysis.ru)

<sup>2</sup>Сибирский институт сельского хозяйства и торфа РАН, г. Томск, Россия

Использован предложенный нами метод получения частиц аэрозоля, состав поверхностного адсорбированного слоя и структура объема которых соответствует составу и структуре частиц твердого атмосферного аэрозоля, заключающийся в диспергировании кристаллов минералов в условиях окружающего воздуха [1].

В качестве объекта исследования был выбран кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), являющийся одним из наиболее распространенных минералов, играющих важную роль во многих процессах в окружающей среде. Количество карбоната кальция превышает 4% от содержания всех минералов в земной коре.

Проведены исследования физико-химических, адсорбционных и фотосорбционных свойств образцов осажденного аэрозоля  $\text{CaCO}_3$ , полученных по этой методики из кристалла минерала кальцита, а также приготовленных из карбоната кальция промышленного производства. Определены спектры поглощения исследованных образцов, состав адсорбированного слоя, спектральные зависимости квантовых выходов фотодесорбции газов с поверхности образцов, а также квантовых выходов фотосорбции некоторых газов, загрязняющих земную атмосферу. Обнаружено различие в активности осажденного аэрозоля из кристалла кальцита и осажденных аэрозолей из препаратов промышленного производства.

1. Захаренко В.С., Филимонов А.П. Фотохимические свойства порошкообразного диоксида титана, полученного из монокристалла рутила в условиях окружающего воздуха // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 611–614.

## АНАЛИЗ КВАЗИДВУХЛЕТНЕЙ ЦИКЛИЧНОСТИ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИЙ ОЗОНА НА ОТДЕЛЬНЫХ СТРАТОСФЕРНЫХ УРОВНЯХ НАД АРКТИКОЙ И ТОМСКОМ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ TOMS

О.Е. Баженов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [baj@iao.ru](mailto:baj@iao.ru)

Анализируется квазидвухлетняя цикличность (КДЦ) общего содержания озона (ОСО) и его концентраций на отдельных высотных уровнях в стратосфере. Относительная средняя разность между наземными наблюдениями на Сибирской лидарной станции Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (М-124) и спутниковыми (TOMS) измерениями [1] составляла 17 е.Д. в 2011 г., 19 е.Д. в 2012 г. и 16 е.Д. в 2013 г. В докладе сравниваются данные по зональному ветру со спутниковыми измерениями озона. Коэффициент корреляции между изменениями ОСО и вариациями экваториального зонального ветра за период 1996–2013 гг. статистически незначим. Интенсивность меридиональной циркуляции максимальна в зимней полусфере. Поэтому дополнительно анализировался сигнал КДЦ озона отдельно для весенних месяцев (средних значений за март–апрель). Средние весенние значения содержания озона и зонального ветра в основном показывают корреляцию в интервале  $-0,23 \div -0,26$ . Ряды смесового отношения озона, составленные для отдельных высотных уровней за период 2005–2013 гг., демонстрируют квазидвухлетнюю цикличность, которая оформляется на высотах  $\sim 30$  км и ослабевает в вышележащих областях. Корреляционная зависимость между отношением смеси озона и индексом экваториального зонального ветра наиболее отчетливо проявляется в западном полушарии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Науки и Образования РФ (Соглашение № 14.604.21.0100), Российского Научного Фонда (Соглашение № 14-27-00022) и гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-4714.2014.5.

## ТРОПОСФЕРНЫЙ ОЗОН В ФОНОВЫХ, СЕЛЬСКИХ И УРБАНИЗИРОВАННЫХ РАЙОНАХ НА ЮГЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

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

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

Проведены многолетние измерения озона в трех районах на юге Восточной Сибири: Монды – фоновый район, Листвянка – сельская станция, г. Иркутск – урбанизированный район.

Измерения озона проводились двумя методами: пассивным – на импрегнированные фильтры и автоматическим – с помощью оптических анализаторов. В Листвянке параллельно с измерениями озона синхронно регистрировались метеопараметры, включая солнечную радиацию. Основные результаты приведены ниже.

- Сезонная изменчивость озона на всех станциях имела общие черты – максимум весной (в апреле), минимум – осенью (в сентябре–октябре). Основным генератором озона в теплый период является солнечная радиация. В зимние месяцы в связи с уменьшением активности солнечной радиации, концентрация озона в приземной атмосфере существенно уменьшается.

- Определена высокая корреляция суточного хода озона и суммарной солнечной радиации со сдвигом его максимума по отношению к максимуму солнечной радиации на 3–6 ч в зависимости от продолжительности дня. В ночные часы, в связи с прекращением генерации озона, концентрации его падают, достигая минимума в предутренние часы.

Средние месячные концентрации озона на станциях Монды и Листвянка были близки между собой, в Иркутске они существенно ниже.

Таким образом, загрязненность атмосферы в городских условиях скорее способствует разрушению озона, чем его образованию. Следует отметить также, что и на ст. Листвянка, особенно в зимний период при переносах загрязнений от крупных региональных источников, концентрации озона могут падать до нулевых значений.

Работа выполнена в рамках Международной программы EANET и Интеграционного проекта № 8.

## ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДЕ ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ (СТАЦИОНАР ЛИН СО РАН)

В.Г. Иванов

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

В 2013–2014 гг. были проведены измерения концентрации метана методом равновесного парафазного анализа [1] с помощью газового хроматографа ЭХО-ЕW-ПИД. Для расчета растворенного в воде метана использовалось уравнение, приведенное в работе [2]. Газовый режим является важным показателем экологического состояния водных экосистем. Метан постоянно присутствует в воде и донных отложениях, а его содержание отражает интенсивность и направленность продукционно-деструкционных процессов, следовательно, степень эвтрофирования и загрязнения органическими веществами водных объектов. Содержание метана в воде зависит от соотношения, с одной стороны, его потока из донных отложений, непосредственного образования в воде, поступления с поверхности водосбора, с другой стороны – окисления метана в воде и его эмиссии в атмосферу. На соотношение перечисленных приходных и расходных частей баланса метана оказывают влияние как естественные факторы и, в первую очередь, климатические и гидрологические условия, контролирующие сезонную и суточную динамику физико-химических и биохимических процессов, так и антропогенное воздействие, накладывающееся на природные факторы и процессы.

Наши исследования выявили как суточный, так и сезонный ход метана. В сезонном ходе максимальные значения отмечены в зимний период, а минимальные – в летний. Для оз. Байкал установлено [3], что распределение метана в воде носит явно неоднородный характер.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00277а).

1. *Большаков А.М., Егоров А.В.* // Океанология. 1987. Т. 37, № 5. С. 861–862.
2. *Wiessenburg D.A., Guinasso N.L.* // J. Chemical Engineering Data. 1979. V. 24, N 4. P. 356–360.
3. *Schmid M., Batist M.De, Granin N.G., Kapitanov V.A., McGinnis D.F., Mizandrontsev I.B., Obzhirov A.I., Wüest A.* // Limnology and Oceanography. 2007. V. 52, N 5. P. 1824–1837.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ ЧАСТИЦ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ПРОФИЛЕ ОТ ТОМСКА ДО ЭСТУАРИЯ ОБИ

В.П. Шевченко<sup>1</sup>, С.Н. Воробьев<sup>2</sup>, С.Н. Кирпотин<sup>3</sup>, И.В. Крицков<sup>3</sup>, Р.М. Манасыпов<sup>3</sup>, О.С. Покровский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия, vshevch@ocean.ru

<sup>2</sup>НИИ биологии и биофизики,

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>3</sup>Центр Превосходства «BioClimLand»,

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Нерастворимые частицы в снежном покрове Западной Сибири были изучены на профиле от окрестностей г. Томска до восточного берега эстуария р. Оби в период с 19 февраля по 4 марта 2014 г. Пробы снега были отобраны в 39 точках. Отбирали верхние 5 см снега. В лаборатории снег растапливали и фильтровали через предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм. Состав частиц был изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SEM (Tescan) с микрозондовой приставкой INCA Energy (Oxford Instruments).

На станциях, расположенных в фоновых районах, концентрация нерастворимых частиц в снеге варьировала от 0,43 до 5,72 мг/л. Это незначительно выше, чем фоновые для снежного покрова Арктики значения. Значительно более высокие концентрации частиц были вблизи Томска (от 13,4 до 39,1 мг/л) и на отдельных участках профиля, расположенных вблизи г. Ноябрьска и районов добычи углеводородного сырья (до 66,6 мг/л). Взвешенное вещество снега состоит в фоновых районах в основном из биогенных и литогенных частиц, вблизи Томска преобладают литогенные частицы (вероятно принесенные по воздуху из расположенных южнее степей и полупустынь), а вблизи Ноябрьска и районов активной добычи углеводородного сырья преобладают сажа и пепловые частицы.

Авторы благодарны В.В. Дроздову и А.В. Сорочинскому, принимавшим участие в экспедиционных исследованиях, В.А. Карлову за помощь в выполнении сканирующей электронной микроскопии и академику А.П. Лисицыну за ценные советы. Работа выполнена при поддержке ОНЗ РАН (проект «Микро- и наночастицы...») и гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2493.2014.5.

## УГЛЕВОДОРОДЫ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАЗЕМНЫХ И АВИАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2012–2013 гг.

Н.Г. Воронцовская<sup>1</sup>, Г.С. Певнева<sup>1</sup>, А.К. Головкин<sup>1</sup>, А.С. Козлов<sup>2</sup>, Б.Д. Белан<sup>3</sup>,  
Д.В. Симоненков<sup>3</sup>, М.А. Аршинов<sup>3</sup>, Г.Н. Толмачев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия, voronetskaya@ipc.tsc.ru

<sup>2</sup>Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Несмотря на то, что значимость аэрозоля широко признана и проведено огромное количество исследований, до сих пор остаются значительные пробелы в описании и моделировании поведения аэрозольных частиц в атмосфере. К одной из таких проблем относится и органическая часть аэрозоля, изучение которой интенсивно проводится во всем мире. В 2012 г. к таким исследованиям присоединился коллектив авторов, начавший работу по исследованию условий образования и поведения органической составляющей аэрозоля в атмосфере над Сибирским регионом. Результаты, полученные в процессе исследований, представлены в докладе.

В 2012 и 2013 гг. проводился отбор проб атмосферных аэрозолей как в тропосферном (500–7000 м), так и в приземном (2 м) слое на тефлоновые аналитические мембраны Grimm 1.113A. Из аэрозолей выделена органическая часть, состав которой затем проанализирован на хромато-масс-спектрометре Agilent 6890N. Идентификация соединений проведена с использованием библиотечных баз данных масс-спектров NIST.

Изучен состав органической части проб аэрозолей, отобранных на высоте 500–7000 м с борта самолета-лаборатории, а также проб аэрозолей, отобранных с вышек наземных станций в различных районах сибирского региона. Показано, что в составе аэрозолей, отобранных как на вышках наземных станций, так и с борта самолета присутствуют *n*-алканы, цикланы и полициклические ароматические углеводороды. Также проведен сравнительный анализ состава углеводородов в аэрозолях наземного фильтроотбора с составом углеводородов авиационных проб.

Исследования проведены в рамках Международной Ассоциированной Лаборатории «МАЛ ЯК-АЭРОСИВ» при поддержке Национального центра научных исследований Франции и РФФИ (гранты № 11-05-93118, 14-05-00526 и 14-05-00590). Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131.

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ, БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ПОТОКОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ГРАНИЦЕ «ВОДА–АТМОСФЕРА»

М.В. Сакирко<sup>1</sup>, В.М. Домышева<sup>1</sup>, М.В. Панченко<sup>2</sup>, Д.А. Пестунов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, sakira@lin.irk.ru

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Сезонный ход содержания биогенных элементов и растворенных газов в поверхностной воде, а также процесс газообмена углекислого газа на границе вода–атмосфера зависит от сложного комплекса взаимодействующих погодных, биологических и гидрологических факторов. Содержание углекислого газа, растворенного кислорода, насыщения им воды и биогенных элементов имеет четко выраженный суточный ход во все сезоны. В течение года наблюдается изменчивость не только среднемесячных значений концентраций рассматриваемых компонентов, но и величины амплитуд суточных колебаний. В зимний подледный период амплитуда минимальна. Весной в воде литорали оз. Байкал наблюдается наибольшее изменение содержания исследуемых компонентов. С мая по июнь увеличивается амплитуда суточного хода концентраций растворенных газов и биогенных элементов в воде литорали озера. От сентября к ноябрю амплитуды суточных изменений уменьшаются. Также наблюдается сдвиг времени наступления суточных экстремумов концентраций растворенного кислорода и углекислого газа.

Измерения показали, что в период открытой воды величина разницы парциального давления изменяется в течение суток и, также как концентрации компонентов химического состава, имеет два суточных экстремума. В весенний период наблюдаются наибольшие изменения в процессе газообмена углекислого газа водной поверхности с атмосферой. В целом, в период открытой воды в литоральной зоне Южного Байкала процесс поглощения углекислого газа из атмосферы преобладает над процессом его выхода с водной поверхности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00277а, проекта № VIII.76.1.5. «Изменение абиотических и биотических характеристик экосистемы озера Байкал под влиянием природных и антропогенных факторов».

## ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИТОРАЛИ ЮЖНОГО БАЙКАЛА

В.М. Домышева<sup>1</sup>, М.В. Сакирко<sup>1</sup>, М.В. Усольцева<sup>1</sup>, М.В. Панченко<sup>2</sup>, Д.А. Пестунов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, hydrochem@lin.irk.ru

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

При исследовании газообмена между водной поверхностью и атмосферой необходимо изучение вертикального распределения концентрации химических компонентов. Отметим, что при малых глубинах (не более 5 м) воздействие дна, а именно влияние развития фитобентоса и макрофитов, распространяется на всю водную толщу. Распределение содержания растворенного кислорода, углекислого газа, биогенных элементов, а также величины рН неоднородно по глубине, и характер их вертикального распределения в разные сезоны неодинаков. В зимний период значительное воздействие на изменение химического состава воды по вертикали оказывает ледовый покров и развивающиеся на нижней границе льда сообщества фитопланктона, концентрация биогенных элементов, диоксида углерода увеличивается с глубиной, содержание кислорода снижается. В июне концентрация фитопланктона в придонном слое выше, чем в поверхностном, но сохраняется такое же вертикальное распределение концентрации химических компонентов, одной из причин такого распределения является, вероятно, преобладание в придонном слое деструкционных процессов. В августе более высокое содержание фитопланктона в придонном слое и интенсивное развитие фитобентоса и макрофитов изменяют характер распределения концентрации химических компонентов: концентрация биогенных элементов и диоксида углерода уменьшается к придонному слою, а концентрация кислорода возрастает. Осенние шторма выравнивают содержание всех химических компонентов по глубине.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00277а и проекту № VIII.76.1.5. «Изменение абиотических и биотических характеристик экосистемы озера Байкал под влиянием природных и антропогенных факторов».



## СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО И ЭЛЕМЕНТНОГО УГЛЕРОДА В АЭРОЗОЛЯХ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ ПОЛУОСТРОВА КИНДО (БЕЛОЕ МОРЕ)

Д.П. Стародымова<sup>1</sup>, В.П. Шевченко<sup>1</sup>, А.А. Виноградова<sup>2</sup>, С.А. Попова<sup>3</sup>, В.И. Макаров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия, *d.smokie@gmail.com*

<sup>2</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Сажевый углерод (СУ) является продуктом неполного сгорания различных видов топлива и биомассы (леса, травы, сельскохозяйственных отходов). Аэрозольный СУ является компонентом атмосферы, вносящим значительный вклад в климатические изменения Арктического региона [1]. СУ представляет собой агрегаты кристаллов графита субмикронного размера [1]. Основным компонентом сажевого углерода является элементный углерод (ЭУ).

С 2010 г. на Беломорской биологической станции МГУ, расположенной на побережье Кандалакшского залива Белого моря, работает станция по отбору аэрозолей. Концентрации органического (ОУ) и элементного углерода в аэрозолях, отобранных в 2010–2012 гг. на стекловолокнистые фильтры А/Е (Pall), были определены термическим методом. На основании этих данных была выявлена сезонная и межгодовая изменчивость углеродсодержащего аэрозоля. Для выявления основных источников поступления аэрозолей применялся метод обратных траекторий. Сравнение средних месячных и годовых концентраций за три года наблюдений показало аномально высокие концентрации ОУ и ЭУ в 2010 г., что связано как с лесными пожарами на Европейской территории России, так и с характером распределения траекторий воздушных масс. Также более высокие концентрации ОУ и ЭУ характерны для летних месяцев.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы 44 фундаментальных исследований Президиума РАН (проект «Седиментологические и биогеохимические исследования...»), РФФИ (гранты № 14-05-93089, 14-05-31512, 14-05-00059), Научного фонда Норвегии (проект SLICFONIA) и экспедиционного гранта СО РАН.

1. *AMAP*, 2011. The Impact of Black Carbon on Arctic Climate / P.K. Quinn, A. Stohl, A. Arneth et al. (Eds.). Arctic Monitoring and Assessment Programme. Oslo, 2011. 72 p.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ СУБАКВАЛЬНЫХ МЕТАНГИДРАТОВ В АРКТИКЕ

В.В. Малахова

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

Интерес к изучению цикла углерода в Арктике вызван климатическими изменениями, которые происходят последние десятилетия в северных широтах и выражаются в повышении среднегодовой температуры воздуха, сокращении площади морских льдов, деградации вечной мерзлоты. Газовые гидраты, обнаруженные в большом количестве в донных осадках морей и океанов – потенциально опасный источник метана, который может включиться при повышении температуры. Поддонные метангидраты Арктического бассейна, зона стабильности которых начинается с морских глубин 200–250 м, более подвержены тепловому воздействию. Однако особый интерес с позиций гидратоносности представляет шельф арктических морей. На мелководном арктическом шельфе с глубинами до 200 м зона стабильности газовых гидратов связана с наличием субмаринной криолитозоны. Комплекс мерзлых пород обеспечил создание условий для формирования в приарктических регионах зоны стабильности газогидратов при меньшей глубине воды.

В докладе представлены результаты математического моделирования зоны возможного распространения субаквальных метангидратов в Северном Ледовитом океане как в глубоководных областях, так и в недрах мелководных шельфов. Оценка зоны стабильности гидратов проведена в зависимости от рассчитанных термобарических условий дна и донных отложений. Термохалинное состояние придонной воды с 1948 по 2012 гг. получено на основе региональной модели Северный Ледовитый океан – Северная Атлантика, разработанной в ИВМиМГ СО РАН. В работе оценивается изменение состояния зоны стабильности гидратов в результате увеличения температуры придонной воды и возможные выбросы метана в водную толщу и далее в атмосферу.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 14-05-00730, ИП СО РАН № 109.

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ КУСТИСТЫМИ ЭПИФИТНЫМИ ЛИШАЙНИКАМИ В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ И РЕСПУБЛИКЕ ХАКАСИЯ

Д.П. Стародымова<sup>1</sup>, В.П. Шевченко<sup>1</sup>, А.А. Афанасьева<sup>2</sup>, А.Ю. Бычков<sup>3</sup>,  
Я.В. Бычкова<sup>4</sup>, В.В. Конева<sup>5</sup>, А.С. Савичев<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия, [d.stokie@gmail.com](mailto:d.stokie@gmail.com)

<sup>2</sup>Лицей № 1553 им. В.И. Вернадского, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, г. Москва, Россия

<sup>5</sup>Биологический институт, Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия

<sup>6</sup>Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, г. Москва, Россия

Тяжелые металлы, накапливаясь в окружающей среде, ведут к ее загрязнению и являются потенциально токсичными для организмов. Воздушный (эоловый) перенос тяжелых металлов часто является самым быстрым. Исследование распределения и состава эолового материала в лишайниках позволяет оценить интенсивность выпадения аэрозольных частиц из атмосферы в течение дней, годов, десятков лет. Одиннадцать проб кустистых эпифитных лишайников рода *Usnea Dill. ex Adans.* были отобраны в Республике Алтай в летние месяцы 2008 и 2013 гг. и в Республике Хакасия в долине и по берегам реки Абакан летом 2013 г. Пробы были высушены в сушильном шкафу при температуре 40–50 °С, очищены от примесей и растерты в агатовой ступке растирочной машинки FRITSCH pulversette (Германия). Элементный состав наших проб был определен после их разложения в тефлоновых стаканах смесью сильных кислот (HNO<sub>3</sub>, HCl и HF) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре X-series II ICP-MS Thermo Scientific.

Наиболее высокие содержания в основном литогенных элементов (Ti, Th, Nb, Cr, U, V, Co) отмечены на ЮВ Алтае и на одной из точек долины р. Абакан, расположенных вблизи сухих степных районов, где возрастает поступление пыли в воздух. Из-за естественной преграды – горного хребта Кузнецкий Алатау – тяжелые металлы из промышленных центров Кемеровской области (Кузнецкий угольный бассейн, г. Кемерово) не оказывают сильного загрязнения на район Северо-Восточного Алтая и Республику Хакасию. Дальний перенос оказывает существенное влияние на концентрации таких элементов, как свинец, цинк, кадмий, висмут.

Авторы благодарны академику А.П. Лисицыну за ценные советы. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-34-50925) и гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2493.2014.5.

## СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛИДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ С ДАННЫМИ ШАР-ЗОНДОВЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

С.И. Долгий, В.Д. Бурлаков, Ю.В. Гриднев, А.П. Макеев, А.В. Невзоров

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [dolgii@iao.ru](mailto:dolgii@iao.ru)

Приводятся результаты сравнения лидарных измерений температуры, полученных измерительным комплексом Сибирской лидарной станции (СЛС) Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (Томск: 56,5° с.ш., 85,0° в.д.) с одновременными шар-зондовыми измерениями в Томске и спутниковыми измерениями. Данные спутникового зондирования высотных профилей температуры получены на станции приема спутниковой информации ИОА СО РАН из измерений гиперспектрального зондировщика атмосферы IASI (спутник MetOP, ESA). Восстановление профилей температуры из спутниковых данных осуществляется на основе стандартных методик EUMETSAT и NASA. Отмечается практически полное совпадение профилей вертикального распределения температуры в нижней стратосфере из данных лидарных измерений по сигналам комбинационного рассеяния от молекулярного азота на длине волны 607 нм и данных шар-зонда, выпущенного одновременно из места расположения лидара. В верхней стратосфере – мезосфере полного совпадения профилей температуры, полученных из данных спутниковых и лидарных измерений, не наблюдается. Разброс значений достигает 7–8 К, что можно объяснить погрешностью обоих приборов и пространственно-временным разнесением измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Миннауки и Образования (Соглашение № 14.604.21.0100), Российского научного фонда (Соглашение № 14-27-00022) и гранта президента РФ по поддержке ведущих научных школ (НШ – 4714.2014.5)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СЕДИМЕНТАЦИИ ПЫЛЬЦЫ СОРНЫХ ТРАВ КАК ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗЕРЕН ТАК И ИХ АГЛОМЕРАТОВ

В.В. Головко<sup>1</sup>, К.П. Куценогий<sup>1</sup>, В.Л. Истомин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, [golovko@kinetics.nsc.ru](mailto:golovko@kinetics.nsc.ru)

<sup>2</sup>Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Исследована седиментация пыльцевых частиц нескольких видов сорных трав, произрастающих в Западной Сибири. Подсчитана процентная доля индивидуальных зерен пыльцы и их агломератов, образующихся при распылении. Определена скорость седиментации агломератов, в состав которых входит от 1 до 6 зерен пыльцы. Установлена зависимость скорости седиментации агломерата от числа входящих в него пыльцевых зерен.

## КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛЬЦЕВОЙ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ г. НОВОСИБИРСКА В ПЕРИОД ЦВЕТЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

В.В. Головко<sup>1</sup>, К.П. Куценогий<sup>1</sup>, В.Л. Истомин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского, СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, [golovko@kinetics.nsc.ru](mailto:golovko@kinetics.nsc.ru)

<sup>2</sup>Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Исследованы таксономический состав, среднесуточные концентрации и суточная динамика содержания в атмосфере пыльцевой компоненты атмосферного аэрозоля в пос. Ключи Новосибирской области. В период цветения древесных растений, в атмосфере массово присутствовала пыльца ивы, тополя, березы, клена, сосны, ели. Пыльца прочих древесных растений (пихты, ольхи, облепихи), трав (осоки, злаков), а также споры хвощей встречались эпизодически. Основной вклад (до 99%) в массовую концентрацию пыльцевой компоненты вносили пыльцевые зерна березы и сосны. Среднесуточные массовые концентрации пыльцы в атмосфере варьировали от 0,3 до 57,8 мкг в кубометре воздуха (в отдельных пробах атмосферного аэрозоля – до 85 мкг), составляя в период массового цветения березы до 57% от суммарных среднесуточных концентраций атмосферного аэрозоля.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОТОНУКЛЕАЦИИ БИОГЕННЫХ АЛЬДЕГИДОВ И ВЫЯВЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ АЭРОЗОЛЯ

Т.В. Захарова<sup>1</sup>, Г.Г. Дульцева<sup>1,2</sup>, С.Н. Дубцов<sup>1</sup>, Н.В. Цыбуля<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, [toma\\_zakh@mail.ru](mailto:toma_zakh@mail.ru)

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Органические соединения, выделяемые в атмосферу растительностью средних широт, являются источником наноаэрозоля, влияние которого на живые организмы, в том числе и на сами растения, пока не изучено. В данной работе исследованы кинетика и механизм химических процессов, протекающих при фотонуклеации биогенных соединений – замещенных ароматических альдегидов, а также фурфурала, образующегося при лесных пожарах. Фотонуклеацию исследуемых альдегидов проводили в фотохимическом реакторе, концентрации и распределение образующихся частиц по размерам измеряли при помощи диффузионного спектрометра аэрозолей. Химический состав газофазных и аэрозольных продуктов фотонуклеации определяли при помощи высокоэффективной жидкостной хроматографии, ИК-спектроскопии, хромато-масс-спектрометрии. Промежуточные короткоживущие свободные радикалы, образующиеся при фотолизе, детектировали методом ЭПР с использованием спиновых ловушек. На основе полученных данных были предложены механизмы фотонуклеации на уровне элементарных стадий.

Биологическое действие газовых и аэрозольных продуктов изучали на модельных системах, в том числе на культурах бактерий, а также на живых растениях. Обнаружено, что продукты фотонуклеации альдегидов обладают выраженным антимикробным действием, причем степень действия зависит от размера частиц. Были изучены изменения в химическом составе тканей растений под действием продуктов фотонуклеации биогенных альдегидов. Показано, что органические наночастицы проникают в растительный организм и вступают в реакции с компонентами тканей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00643) и междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 35.

## ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ИЗОТОПОЛОВОГ ВОДЯНОГО ПАРА НА УРАЛЬСКОЙ АТМОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ В КОУРОВКЕ

Н.В. Рокотян<sup>1</sup>, В.И. Захаров<sup>1</sup>, К.Г. Грибанов<sup>1</sup>, Ж. Жузель<sup>2</sup>, М. Вернер<sup>3</sup>, М. Буцин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия, [nikita.rokotyan@urfu.ru](mailto:nikita.rokotyan@urfu.ru)

<sup>2</sup>Институт Пьера-Симона Лапласа, г. Жиф-сюр-Ивет, Франция

<sup>3</sup>Институт полярных и океанических исследований Альфреда Вегенера, г. Бремерхафен, Германия

Мониторинг изотопического состава водяного пара позволяет получить интегральную информацию об атмосферном водном цикле. Благодаря недавним разработкам методов и моделей, позволяющих восстанавливать информацию о распределении изотопологов водяного пара в атмосфере, наблюдается растущий интерес к использованию изотопического состава для исследования процессов, контролируемых влажностью в тропосфере и водный обмен между тропосферой и стратосферой.

Активно растущая сеть наземных ИК–Фурье-интерферометров позволила производить дистанционное зондирование атмосферного содержания HDO и H<sub>2</sub><sup>16</sup>O на регулярной основе. Тем не менее, из-за высокой корреляции между концентрациями HDO и H<sub>2</sub><sup>16</sup>O в атмосфере, ценность зондирования HDO до сих пор остается под сомнением.

В докладе представлен анализ ошибок и обсуждение результатов зондирования относительного содержания тяжелой воды в атмосфере HDO/H<sub>2</sub>O, получаемых посредством наземных ИК–Фурье-измерений в ближнем ИК-диапазоне на Уральской атмосферной станции в Коуровке. На примере сравнения с результатами провалидированных симуляций изотопической модели общей циркуляции атмосферы ECHAM5-wiso, показано, что дистанционное зондирование HDO (в дополнении к H<sub>2</sub><sup>16</sup>O) позволяет получить дополнительную информацию о водном цикле в атмосфере.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобразования РФ (грант Правительства РФ № 11.G34.31.0064) и РФФИ (грант № 12-01-00801-а).

# ГЕНЕРАЦИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И СТОК АЭРОЗОЛЯ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГОМОГЕННОЙ НУКЛЕАЦИИ ПЕРЕСЫЩЕННОГО ПАРА ХЛОРИДА ЦЕЗИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ХЛОРИДА ЦЕЗИЯ

В.Д. Зелик<sup>1,2</sup>, С.В. Валиулин<sup>1</sup>, С.В. Восель<sup>1,2</sup>, В.В. Карасёв<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, zel.vet@mail.ru

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

Важным параметром, характеризующим свойства наносистем, является поверхностное натяжение  $\sigma$ , являющееся функцией, как температуры, так и радиуса кривизны поверхности натяжения  $R_c$  [1]. Исследования последних лет [2, 3] показали, что  $\sigma$  наночастиц металлов сильно отличается от  $\sigma$  их плоской поверхности, в то же время у неметаллов это отличие очень мало. Данных о различии в величине  $\sigma$  для наночастиц и  $\sigma$  для плоской поверхности у неорганических соединений в литературе практически не встречаются. Напрямую измерить  $\sigma$  для наночастиц не возможно. Однако скорость нуклеации является функцией  $\sigma$ , и поэтому можно использовать экспериментально измеренные величины (скорость нуклеации, температура и пересыщение) для определения поверхностного натяжения для наночастиц [1].

Данная работа посвящена исследованию гомогенной нуклеации пара хлорида цезия в проточной ламинарной камере и определению поверхностного натяжения критических зародышей CsCl.

В работе были экспериментально измерены поле температуры, концентрация и распределение наночастиц по размерам на выходе из камеры, профиль плотности осадка на внутренней поверхности камеры. Методом отсечки пересыщения определена область интенсивной нуклеации. Проведен расчет процессов тепломассопереноса, определено поле пересыщения внутри камеры. С помощью полученной недавно [1] строгой формулы для скорости нуклеации на основе экспериментальных данных определена величина поверхностного натяжения наночастиц хлорида цезия.

1. Vosel S.V. et al. Chapter in the book. Aerosols Handbook, Measurement, Dosimetry and Health effects / Eds. by L.S. Ruser, N.H. Harley. London; New York: CRC Press, Taylor & Francis group, 2012.
2. Onischuk A.A. et al. // J. Chem. Phys. 2012. V. 136. P. 224506 (1–18).
3. Валиулин С.В. и др. // Коллоидный журнал. 2013. Т. 75, № 1. С. 17–29.

## СОЛИТОННАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ В ЗАКРЫТЫХ ОБЪЕМАХ. ЧИСЛЕННЫЕ РЕШЕНИЯ

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

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

Как известно, экспериментальные данные обнаруживают присутствие в атмосфере крупных когерентных структур (областей когерентной турбулентности). А.С. Монин и А.М. Яглом определяют когерентную структуру как неслучайную нелинейную устойчивую суперпозицию крупномасштабных компонент турбулентности. Однако процесс дискретного когерентного каскадного распада гидродинамической ячейки, как установлено нами, продолжается до самых мелких вихрей, существующих в воздухе. Поэтому понятие «когерентная структура» нами расширено. В расширенном понимании когерентная структура есть уединенное солитонное решение уравнений гидродинамики и содержит как крупномасштабную, так и мелкомасштабную турбулентность.

В докладе представлены результаты численных решений 14 краевых задач для уравнений гидродинамики (уравнений Навье–Стокса). В отсутствие обмена веществом среды на границах (закрытого объема или закрыто-

го помещения) рассмотрены различные формы объемов в разных термодинамических условиях. Эту задачу стало возможно численно решить с помощью специализированных пакетов свободного программного обеспечения, имеющихся в настоящее время. Нами использовано свободное программное обеспечение The Gerris Flow Solver, распространяемое в открытых исходных кодах свободно. Эффективность и требуемая точность программного обеспечения подтверждена на достаточно широком классе 100 типичных тестовых задач. Решение большинства типичных тестовых задач проверено нами и дает удовлетворительные результаты.

Показано, что внутри помещений наблюдаются уединенные крупные вихри (когерентные структуры или трехмерные топологические солитоны). В случае одинаковых краевых условий картины движений среды (показанные линиями тока), полученные численным моделированием и независимо зарегистрированные авторами ранее экспериментально (в помещениях астрономических телескопов БСВТ и БТА) практически совпадают. Приведены данные статистического анализа численных результатов. Показано, что колмогоровская турбулентность есть результат смешивания (имеющих близкие размеры) продуктов распада различных когерентных структур. Это подтверждает наш вывод, сделанный ранее экспериментально. Представленные результаты и численные решения уравнений гидродинамики необходимы при моделировании атмосферных процессов и анализе процессов генерации (стока) аэрозоля.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСАЖДЕНИЯ КОНДЕНСИРУЕМОЙ ФАЗЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

М.Ю. Степкина, О.Б. Кудряшова, Н.В. Коровина, Е.В. Муравлёв

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск, Россия, mabric@mail.ru*

В настоящее время острой проблемой является вредные аэрозольные выбросы в производственных помещениях. Один из известных способов осаждения аэрозолей основан на применении электрического поля. При этом эволюция аэрозольного облака происходит за счет дрейфа частиц под действием электрических сил, а также за счет гравитационного осаждения частиц и конвективной диффузии.

В работе проведен сравнительный анализ скоростей конвективного распространения частиц в пространстве, гравитационного осаждения и дрейфа частиц аэрозольного облака под действием электрических сил. В зависимости от размера частиц их скорости, обусловленные диффузией, электростатическим полем и полем силы тяжести, существенно отличаются, изменяя ведущий механизм движения этих частиц. Для определения конкретных значений вышеописанных скоростей проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента диффузии и воздействию электрического поля на модельные вещества.

## ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ ГРУБОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

А.А. Антонникова, О.Б. Кудряшова

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск, Россия, antonnikova.a@mail.ru*

В процессе производственной деятельности в воздушную среду помещений могут поступать разнообразные вредные вещества. Для создания нормальных условий труда очень важно обеспечить необходимую чистоту воздуха, так как большое число работающих может подвергаться воздействию производственной пыли. Возможным решением указанной проблемы является укрупнение и последующее осаждение частиц под действием автономных акустических (ультразвуковых) источников и распылительных устройств.

Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию процессов эволюции и механизмов осаждения грубодисперсных аэрозолей с помощью акустического излучения; поиск оптимальных режимов ультразвукового воздействия с точки зрения скорости осаждения аэрозолей.

С помощью измерений изменения дисперсных характеристик аэрозолей во времени показано, что ультразвуковое воздействие повышает скорость коагуляции и осаждения частиц как жидкокапельных, так и твердофазных аэрозолей. Эксперименты с разными частотами действующего ультразвукового излучения показали эффективность максимальной из использованных частот (32 кГц) и отсутствие эффекта на звуковых частотах воздействия (2,4 кГц), что подтверждают теоретические выводы.

## ГЕНЕЗИС АЭРОЗОЛЕЙ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ

**Н.В. Коровина, О.Б. Кудряшова, Е.В. Муравлёв**

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН,  
г. Бийск, Россия, Korovina.nata@mai.ru*

Диспергирование жидкости является одним из основных процессов, определяющих функционирование современных технических устройств, систем пожаротушения, смесеобразования, установок для нанесения упрочняющих, износостойких покрытий. В процессах диспергирования определяющими параметрами эффективности являются размер распыливаемых капель, концентрация частиц, пространственное распределение и скорость создания аэрозольного облака.

Одним из эффективных способов генерации аэрозольного облака является ударно-волновое импульсное распыливание жидкости при иницировании заряда высокоэнергетического материала (ВЭМ). В отличие от известных способов ударно-волновое распыливание жидкости имеет ряд особенностей – малое время генерации и относительно высокая дисперсность получаемого аэрозоля.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование и математическое моделирование процесса генерации и дальнейшего распространения в замкнутом объеме аэрозольного облака, полученного ударно-волновым способом. Показано, что преобладающим механизмом распространения аэрозольных частиц радиусом  $1\div 7,5$  мкм является диффузия. Для рассматриваемого класса аэрозолей определено эффективное значение коэффициента диффузии в замкнутом пространстве.

## ОПТИКО-МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

**Р.Ф. Рахимов, В.С. Козлов, В.П. Шмаргунов**

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

Используя большую аэрозольную камеру (БАК), реализован лабораторный эксперимент, в котором анализируется изменение состояния аэродисперсной смеси, под воздействием циклически повторяющихся колебаний относительной влажности. В ходе эксперимента, с помощью поляризационного спектрофелометра измерены временные изменения значений коэффициента направленного светорассеяния для аэрозольной смеси, подаваемой из БАК в камеру нефелометра. При этом дисперсная смесь, перед тем как попасть в камеру нефелометра, в специально разработанном увлажнителе воздушной массы подвергалась воздействию циклически повторяющихся колебаний относительной влажности. Решение обратной задачи, после необходимой процедуры синхронизации значений, производилось по временной изменчивости значений коэффициента направленного светорассеяния  $\beta_{sn}(t)$  для четырех длин волн  $\lambda_i = 455, 525, 585, 630$  нм, пяти углов рассеяния  $\theta_j = 15, 45, 110, 135, 165^\circ$  и двух ортогональных состояний поляризации. В результате решения обратной задачи удалось оценить характерные изменения дисперсного состава смешанных дымов и оптических постоянных различных фракций аэрозольных частиц. Отмечено, что в скорости изменения оптических характеристик на этапах возрастания и убывания относительной влажности устойчиво сохраняются заметные различия. В частности, по мере деградации оптической плотности аэрозольной смеси, значения параметров аппроксимации Хёнела, определяющей взаимосвязь аэрозольного коэффициента рассеяния с относительной влажностью, существенно меняются. По результатам обращения подтвердилась диэлектрическая неоднородность состава аэрозолей. В частности, для оценки оптических свойств необходимо учитывать характерные изменения состояния промежуточной фракции, у которой, в начале процесса, значение мнимой части показателя преломления вдвое выше, чем для наиболее крупных частиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ проект № 12-05-00395-а.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКЦИИ ДЫМОВЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА ЦИКЛИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПО ДАННЫМ СПЕКТРОНЕФЕЛОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Р.Ф. Рахимов, В.С. Козлов, В.П. Шмаргунов

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

Представлена методика исследования реакции дымовых аэрозолей на многократные колебания относительной влажности в интервале 45–95%. Для стабилизации состава аэрозолей дымовая смесь длительное время выставлялась в большой аэрозольной камере (БАК) объемом 1800 м<sup>3</sup>. Подаваемый из БАК в камеру спектронефелометра дым подвергался процессу увлажнения в специально разработанном увлажнителе. Для решения обратной задачи аэрозольного светорассеяния были использованы результаты оптических измерений, полученные с помощью поляризационного нефелометра. В ходе оптических измерений накоплены данные о временной и влажностной изменчивости коэффициента направленного светорассеяния  $\beta_{sn}(t)$  для четырех длин волн  $\lambda_i = 455, 525, 585, 630$  нм, пяти углов рассеяния  $\theta_j = 15, 45, 110, 135, 165^\circ$  и двух ортогональных состояний поляризации. Высокая чувствительность и стабильность измерений спектральных коэффициентов рассеяния достигалась за счет применения мощных 4-цветных светодиодов LZ4-20MA10, контроля их интенсивности, вычитания темновых сигналов, накопления полезного сигнала, а также использования современного фотоприемника типа Hamamatsu H7468, считывающего последовательно в течение единичного цикла (3–7 мин) с погрешностью 3% набор из 40 элементов вектора измерений. После завершения полного периода наблюдений осуществлялась процедура синхронизации измеренных данных. Информационная емкость данных регистрируемых в аэрозольном оптическом эксперименте методами поляризационной спектронефелометрии позволяет отслеживать не только изменение дисперсного состава (плотности распределения частиц по размерам), но и определять пределы возможные вариаций комплексного показателя преломления (КПП) частиц на отдельных интервалах шкалы размеров. Получены данные о характерных изменениях дисперсного состава дымовых смесей и показателя преломления отдельных фракций.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 12-05-00395-а).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА САЛЬТИРУЮЩИХ ПЕСЧИНОК В ВЕТРОПЕСЧАНОМ ПОТОКЕ

Г.И. Горчаков<sup>1</sup>, В.М. Копейкин<sup>1</sup>, А.В. Карпов<sup>1</sup>, А.А. Титов<sup>2</sup>, Д.В. Бунтов<sup>2</sup>, А.О. Серегин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия, gengor@ifaran.ru*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет приборостроения и информатики, г. Москва, Россия*

В [1] получены оценки среднего удельного заряда сальтирующих песчинок по данным измерений на опустыненных территориях в Астраханской области. С целью повышения точности и оперативности измерения удельного заряда была разработана аппаратура для проведения синхронных измерений массовой концентрации сальтирующих песчинок и плотности электрического тока сальтации на заданной высоте. Выполнены измерения флуктуаций токов сальтации и флуктуаций счетной концентрации сальтирующих песчинок. Разработана и реализована методика калибровки прибора по массовой концентрации сальтирующих песчинок.

1. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Бунтов Д.В., Соколов А.В. Удельный заряд сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Доклады РАН. 2014. Т. 456, № 4. С. 476–480.

## МАЛОГАБАРИТНЫЙ СЧЕТЧИК САЛЬТИРУЮЩИХ ПЕСЧИНОК

А.А. Титов<sup>1</sup>, А.В. Карпов<sup>2</sup>, Р.А. Гушин<sup>1</sup>, О.И. Даценко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет приборостроения и информатики,  
г. Москва, Россия, gengor@ifaran.ru*

<sup>2</sup>*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия*

Для исследований процессов в ветропесчаном потоке разработан малогабаритный счетчик сальтирующих песчинок. Диапазон размеров измеряемых частиц: 20–300 мкм. Прибор разработан для проведения измерений в экстремальных метеоусловиях и имеет широкий диапазон рабочих температур: 5–45 °С. В июле–августе 2014 г. на опустыненных территориях в Черноземельском районе Республики Калмыкия в ходе проведения экспедиционных работ были выполнены полевые испытания прибора, которые показали его работоспособность в сложных погодных условиях.



# МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

## ДЕПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ, ЛИДАРНОЕ И СПЕКТРАЛЬНОЕ ОТНОШЕНИЯ ПРИ РАССЕЯНИИ СВЕТА НА СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛАХ

А.В. Коношонкин<sup>1,2</sup>, Н.В. Кустова<sup>1</sup>, А.Г. Боровой<sup>1,2</sup>, И.В. Самохвалов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, sasha\_tvo@iao.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Деполяризационное, лидарное и спектральное отношения играют важную роль при восстановлении микрофизических параметров перистых облаков по данным лидарного зондирования. Эти безразмерные параметры не зависят от концентрации частиц в облаке, что делает их удобным инструментом для определения форм, размеров и ориентаций составляющих облако кристаллов. Для построения методики интерпретации лидарного сигнала необходимо решение прямой задачи рассеяния света на ледяных кристаллах.

В докладе представляются деполяризационное, лидарное и спектральное отношения, посчитанные в приближении физической оптики [1, 2] для субмиллиметровых гексагональных ледяных пластинок и столбиков. Проводится их сравнение и сопоставление с результатами лидарных измерений. Установлено качественное различие в поведении указанных безразмерных отношений для гексагональных пластинок и столбиков. Замечена зависимость отношений от эффективного угла наклона квази-горизонтально ориентированных кристаллов. Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности построения метода восстановления микрофизических параметров перистых облаков на основе одновременного измерения значений деполяризационного, лидарного и спектрального отношений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 12-05-00645а), гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ (НШ-4714.2014.5) и РФФ (соглашение № 14-27-00022).

1. Borovoi A.G., Grishin I.A. // J. Opt. Soc. Amer. A. 2003. V. 20, N 11. P. 2071–2080.

2. Borovoi A., Konoshonkin A., Kustova N. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2014. V. 146. P. 181–189.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКА В АТМОСФЕРЕ НЕИЗВЕСТНОГО ЛИНЕЙНОГО ИСТОЧНИКА ГАЗОВ И АЭРОЗОЛЕЙ

Б.М. Десятков, Н.А. Лаптева, А.Н. Шабанов

ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор», п. Кольцово, Россия, lapteva@vector.nsc.ru

При техногенных авариях и террористических актах в атмосферу могут быть выброшены опасные для здоровья человека газы и биологические аэрозоли. Это может быть реализовано как точечными, так и линейными источниками. В предыдущих работах авторов [1] детально описаны методы поиска скрытых точечных источников. В данной работе предложен метод поиска неизвестного линейного источника примесей в пограничном слое атмосферы. Он основан на использовании сопряженного уравнения турбулентной диффузии [2], когда по измеренным значениям концентрации в небольшом количестве точек, решается обратная задача: вычисляется функция влияния и определяются значения параметров искомого источника: его длина, местоположение и удельный расход вещества. Примером такого линейного источника может быть автомобиль, движущийся по городу, беспилотный летательный аппарат, самолет и др. Необходимые для расчетов трехмерные поля скорости ветра, температуры, влажности и турбулентности вычисляются с использованием численно-аналитической модели переноса аэрозолей в термически стратифицированном пограничном слое атмосферы [1].

Приводятся результаты многочисленных тестовых расчетов. Исследуется влияние количества точек измерения концентрации примесей и неизбежных ошибок измерения концентрации на точность искомого параметров линейного источника.

Полученные результаты убедительно показывают, что предложенный метод обеспечивает удовлетворительную точность результатов. Он является экономичным и устойчивым к ошибкам входных данных.

Метод может быть использован при разработке комплекса программ, применяемых в кризисных ситуациях, связанных с выбросом в атмосферу газов и биологически опасных аэрозолей при техногенных авариях и террористических актах.

1. *Бородулин А.И., Десятков Б.М.* Моделирование распространения примесей в атмосферном пограничном слое. Новосибирск: Новосибирский гос. ун-т, 2007. 376 с.
2. *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗОН ВЕРОЯТНОГО ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО СУДНА

**Д.П. Нахтигалова<sup>1</sup>, В.В. Зуев<sup>1</sup>, А.П. Шелехов<sup>1</sup>,  
Е.А. Шелехова<sup>1</sup>, Л.И. Кижнер<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
г. Томск, Россия, Amila@sibmail.com*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

К числу опасных явлений погоды, которые необходимо контролировать и прогнозировать в интересах авиации, относят обледенение воздушных судов, которое занимает особое место в безопасности авиатранспорта и представляет собой отложение льда на различных частях летательного судна. В данной работе представлены результаты измерений пространственных зон вероятного обледенения воздушного судна в слое от 0 до 1000 м, полученных с помощью метеорологического температурного профилера МТР-5РЕ и с использованием данных о нижней кромке облачности, а также приземных значений точки росы и относительной влажности, определяемых с помощью аэродромной метеорологической станции АМИС-РФ. Определение пространственных зон вероятного обледенения осуществлялось по формуле Годске и модели NCER, которые повсеместно используются для прогноза вероятных зон обледенения в аэропортах. Профили точки росы и относительной влажности рассчитывались на основе формул Ипполитова и Ферреля; и данных измерений нижней кромки облачности, а также приземных значений точки росы и относительной влажности. Приведены результаты измерений дневных вариаций профилей температуры и рассчитанных профилей влажности в аэропорту г. Томска на 11.10.2012 г. Установлено, что суточные вариации высотного профилей температуры и влажности соответствовали условиям для образования обледенения в приземном слое атмосферы. Показано, что расчет пространственных зон вероятного обледенения по формуле Годске и по модели NCER дают схожие результаты и хорошо согласуются с данными о фактическом обледенении, поступившими с борта воздушного судна.

## РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ДЛЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ AERMOD

**А.С. Вайцеховский<sup>1</sup>, О.С. Токарева<sup>1,2</sup>, Е.С. Козин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия, vaycehovskiyas@gmail.com*

<sup>2</sup>*Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия*

AERMOD представляет собой программный комплекс моделирования распространения примесей в атмосфере [1]. Система AERMOD разработана организацией Environmental Protection Agency (EPA U.S.), является бесплатной, и поставляется в виде консольных приложений, оперирующих только с текстовыми данными. Это приводит к возникновению различного рода ошибок при подготовке входных данных, и создает значительные затруднения при анализе полученных результатов моделирования, так как они не обладают наглядностью и представляют собой набор текстовых файлов сложных для восприятия.

На данный момент существуют интерфейс, разработанный компанией Breeze. Стоимость лицензии на использование их разработки составляет 60 тыс. рублей и поставляется система только на английском языке.

В работе приведены результаты разработки графического интерфейса, обеспечивающего удобное оперирование входными данными, представление результатов моделирования в виде слоев цифровых карт с привязкой к исследуемой территории. Основную сложность при выполнении работы составил анализ структуры системы,

определение входных препроцессоров, метеорологических значений и особенностей ландшафта, необходимых для получения результата. Графический интерфейс находится на стадии прототипа.

1. *Environmental Protection Agency, United States. Technology Transfer Network, Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling, Preferred/Recommended Models [Электронный ресурс].* [http://www.epa.gov/scram001/dispersion\\_prefrec.htm](http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО СТОКА ДЛЯ СИБИРСКИХ РЕК В XX–XXI ВЕКАХ

**В.И. Кузин, Н.А. Лаптева**

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, lapteva@vector.nsc.ru*

Представлены результаты моделирования речного стока для Сибирского региона в XX и XXI вв. на основе климатической модели речного стока. Модель является линейной резервуарной моделью [1, 2], т.е. каждая ячейка модели является резервуаром или каскадом резервуаров. Построение направлений речного, поверхностного и грунтового стоков строилось на основе данных по рельефу и анализа графов стоков по поверхности и в речном русле. В модели производится учет влияния болот и озер в зависимости от процентного содержания в ячейке. Входными данными для модели являются осадки, испарение, таяние снега и температурный режим поверхности. При верификации модели для расчетов стоков в XX в. применялись данные реанализа MERRA/NASA [3]. Для контроля использовались данные о стоках на гидропостах по сибирским рекам. Результаты моделирования для XXI века проводились на данных расчетов по модели ИВМ РАН и CNRM по сценарию RCP 8.5 проекта IPCC.

Работа проводилась при поддержке проектов РФФИ № 14-05-00730, ИП СО РАН № 69, 109.

1. *Бураков Д.А.* К оценке параметров линейных моделей стока // *Метеорол. и гидрол.* 1989. № 10. С. 89–95.
2. *Кучмент Л.С.* Математическое моделирование речного стока. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 190 с.
3. *Кузин В.И., Лаптева Н.М.* Математическое моделирование стока основных рек Сибири // *Оптика атмосферы и океана.* 2014. Т. 27, № 6. С. 525–529.

## ИССЛЕДОВАНИЕ «СКЛАДОК» ТРОПОПАУЗЫ И СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА

**О.Ю. Антохина<sup>1</sup>, П.Н. Антохин<sup>1</sup>, Б.Д. Белан<sup>1</sup>, О.С. Кочеткова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, olgayumarchenko@gmail.com*

<sup>2</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Исследуется события «складывания» тропопаузы (TF) в Западной Сибири в 2012 г. TF и особенности их положения относительно струйных течений определялись по данным о величинах потенциальной завихренности в диапазоне от 1 до 4 PVU и компонентах скорости ветра архива ECMWF ERA-Interim [1] на стандартных изобарических поверхностях. Для отдельных событий исследовалось положение высотной фронтальной зоны (ВФЗ) по синоптическим картам AT500.

В целом, характеристики исследуемых TF и струйных течений в районах СТО согласуются с описанными рядом авторов, стоит отметить региональные особенности. На территории Западной Сибири к югу от 50° с.ш. события TF оказались связаны с субтропическим струйным течением, севернее – с полярным фронтом, либо имело место «сближение» двух струйных течений.

Наиболее ярко выраженные изменения высоты тропопаузы от зимы к лету наблюдаются в зоне 50–65° с.ш., в более высоких широтах сезонный ход не столь заметен. Эта же закономерность проявляется и в частоте формирования складок тропопаузы в различные сезоны. В зоне 50–65° с.ш. события TF происходили в основном в зимне-весенний период, а в области 70–85° с.ш. – в весенне-летний. Выявленные особенности, вероятно, связаны с сезонным смещением ВФЗ в исследуемом регионе, что подтверждается исследованиями многих авторов.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131, грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590 и 14-05-93108, госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 и 14.613.21.0013.

1. *Dee D.P. et al.* // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.* 2011. V. 137, N 656. P. 553–597.

## РОЛЬ АТМОСФЕРНОГО БЛОКИРОВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В 2012 г. НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРАЗИИ

О.Ю. Антохина, П.Н. Антохин, Б.Д. Белан

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

По данным Гидрометцентра России 2012 г. стал рекордным по количеству опасных гидрометеорологических явлений. Температура зимнего сезона 2011–2012 гг., а также декабря 2012 г. в тропосфере Северного полушария была ниже нормы. Весенний и летний сезоны в умеренных широтах Северного полушария отличались, напротив, большими положительными аномалиями температуры тропосферы (вторые по величине в соответствующих рядах с 1958 г.) [1]. Известно, что основной причиной появления устойчивых аномалий термобарического поля, являются атмосферные блокинги. В представленной работе проведено исследование этой связи для 2012 г., с применением двух различных критериев атмосферного блокирования [1, 2]. Оказалось, что и количество и интенсивность блокингов, по исследуемым критериям отличаются, причем наибольшие различия появляются над территорией Сибири. Согласно критерию [3] основной причиной появления аномалий температуры, является высокая частота возникновения блокирующих ситуаций. По результатам расчета критерия [2], роль блокингов гораздо менее значима, особенно в формировании летних максимумов температур в Западной Сибири.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131, грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590 и 14-05-93108, госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 и 14.613.21.0013.

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2012 г. М., 2013. 86 с.
2. Tibaldi S., Molteni F. // Tellus. A. 1990. V. 42. P. 343–365.
3. Pelly J.L., Hoskins B.J. // J. Atmos. Sci. 2003. V. 60, N 3. P. 743–755.

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛИТЕЛЬНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ПРИМЕСЕЙ ОТ ВЫСОТНОГО ИСТОЧНИКА

А.А. Леженин<sup>1</sup>, В.Ф. Рапуга<sup>1</sup>, В.А. Шлычков<sup>2</sup>, Т.В. Ярославцева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, lezhenin@ommafao.ssc.ru*

<sup>2</sup>*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Новосибирский филиал, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>*Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия*

Вертикальная структура поля ветра оказывает большое влияние на распространение загрязняющих примесей от дымовых труб. В атмосферном пограничном слое сила Кориолиса обеспечивает правый поворот ветра с высотой. Угол поворота зависит от многих факторов, а его теоретическое значение составляет около 30°. Учет данного эффекта необходим при изучении миграции дымового аэрозоля, выпущенного из высотного источника.

В докладе представлены результаты мониторинга и оценки загрязнения снежного покрова в окрестностях ТЭЦ-3 г. Барнаула. На основе решения уравнения переноса тяжелой неоднородной примеси в атмосфере разработана модель реконструкции поля поверхностной концентрации примеси по данным наблюдений. Для расчета поля ветра использована гидродинамическая модель, основанная на решении уравнений пограничного слоя атмосферы. Проведена апробация предложенной модели реконструкции на данных экспериментальных исследований аэрозольных выпадений бенз(а)пирена в окрестностях ТЭЦ-3 г. Барнаула. Получено вполне удовлетворительное согласие результатов численного моделирования и данных наблюдений. Показана необходимость учета сведений о повторяемости направлений ветра во всем слое распространения примеси. Из проведенных исследований вытекает, что в зимний период времени доминирующий вынос бенз(а)пирена происходит в сторону города, что указывает на неудачное размещение промплощадки ТЭЦ и в конечном итоге приводит к заметному дополнительному загрязнению атмосферы г. Барнаула.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН, проект 4.9-3.

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА УРОВНЕ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

М.А. Якунин

*Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия*

При решении современных задач восстановления коротковолнового радиационного баланса системы атмосфера – подстилающая поверхность (ПП) используется параметрический подход, когда физические процессы аппроксимируются в общем случае произвольными математическими функциями, полученными при помощи многомерной регрессии. Недостатками данного подхода является невозможность оценить ошибки, появляющиеся на каждом этапе вычислений, а также необходимость полной переработки параметризации при изменении специфических исходных условий, что затрудняет внедрение и оперативное использование данных моделей.

Данная работа предлагает гибридный подход, основанный на использовании физических законов и параметризации. В основе данного подхода лежит использование опорных спектров, полученных при помощи MODTRAN, которые масштабируются соответствующими операторами преобразования к конкретным условиям атмосферы и наблюдения. Это позволяет использовать данный подход для высокопроизводительных операционных вычислений повышенной точности вне зависимости от способа получения данных о состоянии атмосферы или конкретных специфических условий исследуемой территории.

В данной работе рассматривается один из этапов восстановления радиационного баланса – расчет коротковолновой солнечной энергии на уровне ПП. Для валидации предложенного метода использовались данные станций наземного наблюдения SURFRAD в США, а в качестве исходных данных о состоянии атмосферы (концентрация водяного пара, аэрозольной оптической толщи) – данные, полученные со спектрорадиометра MODIS/Terra. Спутниковые данные и данные наземной станции синхронизировались по времени пролета спутника и географическим координатам расположения станции, а затем по текущим параметрам атмосферы с помощью соответствующих операторов рассчитывались необходимые спектры и восстанавливалось количество нисходящей солнечной энергии. Результаты валидации подтвердили работоспособность предложенного гибридного подхода и его небольшую погрешность вычисления, не превышающую 3–10%.

## РАСЧЕТ КОМПОНЕНТ ТЕНЗОРА КОЭФФИЦИЕНТОВ ТУРБУЛЕНТНОЙ ДИФФУЗИИ ВОДЯНОГО ПАРА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ГОРОДСКИХ УСЛОВИЙ (НА ПРИМЕРЕ г. БАРНАУЛА)

К.Ю. Суковатов, Н.Н. Безуглова

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

С использованием автоматизированного акустического метеокомплекса АМК-03 проведены измерения турбулентных пульсаций компонент скорости приземного ветра в пограничном слое атмосферы на высоте 25 м в городских условиях. По измеренным значениям турбулентных пульсаций компонент скорости приземного ветра рассчитаны временные корреляционные функции и дисперсии оценки корреляционной функции поля скоростей. Интегрированием корреляционных функций по временному масштабу Эйлера были рассчитаны компоненты тензора коэффициентов турбулентной диффузии (ТКТД) водяного пара в атмосфере. При вычислении коэффициентов турбулентного обмена временной масштаб Эйлера определялся через автокорреляционную функцию пульсаций  $x$ -компоненты скорости ветра в точке ее первого обращения в ноль. С использованием результатов расчета дисперсии оценки корреляционных функций поля скоростей вычислены дисперсии компонент ТКТД. Рассмотрен суточный ход компонент ТКТД, а также проведено сравнение временного хода коэффициента турбулентного обмена, измеренного другим методом, турбулентных потоков импульса, тепла и вертикальной диагональной компоненты ТКТД. Получена высокая корреляция между вертикальными турбулентными потоками импульса, тепла и вертикальной диагональной компонентой ТКТД. Расчеты проводились с использованием разработанного автором программного обеспечения на языке программирования Python.

## **ПРОЯВЛЕНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИГНАЛАХ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**О.Г. Хуторова, В.Е. Хуторов, Г.М. Тептин, А.А. Журавлёв**

*Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия, olga.khutorova@kpfu.ru*

В настоящее время высокоточные фазовые измерения приемников позиционирования GPS и ГЛОНАСС часто используются для оценки интегрального влагосодержания атмосферы. Ранее было показано, что непрерывные длинные ряды измерений позволяют исследовать мезомасштабную и синоптическую динамику тропосферы. В работе используются синхронные измерения сети наземных пространственно-разнесенных приемников спутниковых навигационных систем и метеостанций в г. Казани. На основе фазовых измерений сигналов со спутников наземными приемниками сделаны оценки структурных функций интегрального влагосодержания атмосферы. Анализируются амплитудно-временные характеристики сигналов спутниковых навигационных систем. Показана их связь с конвективными процессами. Специальный эксперимент проведен для оценки влияния подстилающей поверхности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Академии наук РТ (№ 13-05-97054).

## **ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ МНОГОКАНАЛЬНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ. ВЛИЯНИЕ ИСКАЖЕНИЙ НА КАЧЕСТВО ПУЧКА**

**О.Л. Антипов<sup>1</sup>, Ф.Ю. Канев<sup>2</sup>, Н.А. Макенова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>2</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, tpa@iao.ru*

Выполнен анализ влияния на качество многоканального излучения искажений, возникающих в каналах оптической системы и в турбулентной среде. В частности показано, что при увеличении числа элементарных пучков значительно снижается искажающее воздействие случайных фазовых сдвигов и случайных наклонов, возникающих в каналах. Также установлено, что адаптивная компенсация искажающего воздействия атмосферы возможна при задании относительных фазовых сдвигов пучков. Еще одним результатом работы является демонстрация принципиальной возможности генерации вихревого излучения в многоканальной системе.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНОЙ МЕРЗЛОТЫ ШЕЛЬФА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ СЦЕНАРНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА XXI ВЕКА**

**В.В. Малахова, Е.Н. Голубева**

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

Изучение происхождения, состояния и динамики субаквальных мерзлых пород на шельфах арктических морей представляет большой интерес, особенно в условиях меняющегося климата. Деграляция подводной мерзлоты и нарушение условий существования шельфовых газогидратов могут привести к выбросу огромных количеств метана в атмосферу этого региона. В условиях отсутствия систематических данных наблюдений метод математического моделирования является необходимым инструментом, позволяющим просчитать возможные сценарии развития событий.

В докладе представлено математическое моделирование динамики толщи субаквальной мерзлоты и зоны стабильности газогидратов на Арктическом шельфе с 1948 по 2012 г. и далее до 2100 г. Оценки современного и возможных будущих изменений термического состояния грунтов в зоне субаквальной мерзлоты получены с использованием одномерной модели теплопереноса в почве, разработанной в ИФА РАН. Термохалинное состояние придонной воды получено на основе региональной модели Северный Ледовитый океан – Северная Атлантика (СЛО–СА), разработанной в ИВМиМГ СО РАН. Возможные будущие изменения в состоянии водных масс рассчитаны с атмосферным форсингом, соответствующим сценарию потепления RCP8.5. Полученный отклик атмосферы с 2006 по 2100 гг. по модели GFDL-CM3 использовался для расчета термохалинной циркуляции в модели СЛО–СА на этот же период. Получены оценки глубины протаивания, температуры субаквальной

ных мерзлых пород и состояния зоны стабильности газогидратов на шельфе в условиях современного климата и для прогноза изменения климата в XXI в.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 14-05-00730, ИП СО РАН № 109.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ $PM_{10}$ В МОСКВЕ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

И.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, И.Ю. Шалыгина<sup>1</sup>, А.А. Глазкова<sup>1</sup>, П.В. Захарова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия, shalygina@metcom.ru

<sup>2</sup>ГПБУ «Мосэкомониторинг», г. Москва, Россия

Важной задачей мониторинга  $PM_{10}$  является заблаговременное прогнозирование ситуаций с повышением уровня загрязнения. Для идентификации ситуаций с повышенными и высокими концентрациями  $PM_{10}$  в Московском регионе использованы данные измерений концентраций на сети ГПБУ «Мосэкомониторинг». Выявлено, что эпизоды аэрозольного загрязнения имеют выраженную сезонную зависимость с максимальной повторяемостью в весенние и летние сезоны. Одни эпизоды повышения уровня загрязнения, связанные накоплением загрязнений в приземном воздухе при слабой рассеивающей способности атмосферы, наиболее просты для идентификации и прогнозирования, в том числе, с помощью химических транспортных моделей. Другие случаи повышения концентраций  $PM_{10}$  обусловлены приходом загрязненной воздушной массы, как правило, в теплых секторах барических образований; такие ситуации, как правило, идентифицируются по факту, прежде всего, из-за неопределенностей расположения источников загрязняющих веществ. Но и в таких случаях прогноз динамики загрязнения составляется на основе прогноза метеорологических параметров нижней атмосферы, рассчитываемых моделями атмосферы с высоким разрешением. Успешность прогноза распространения примеси во многом определяется качеством численного прогноза метеорологических полей, соответственно, вертикальной структуры слоя, в котором распространяются примеси. Представляются и обсуждаются модельные погрешности прогноза скорости ветра и температуры в нижнем 500-метровом слое, основанные на тестировании моделей WRF и COSMO-Ru7 с применением данные высотных наблюдений температуры и ветра в АПС.

Работа выполнена частично при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-05-00481-а).

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛИДАРНОГО СИГНАЛА В ОБЛАЧНОМ СЛОЕ С УЧЕТОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Е.Г. Каблукова<sup>1</sup>, Б.А. Каргин<sup>1,2</sup>, А.А. Лисенко<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия, Jane\_K@ngs.ru

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

<sup>4</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Методом Монте-Карло [1] проведено численное моделирование распространения линейно поляризованного излучения от ЛИДАРа наземного базирования в облачном слое с осредненными оптическими данными, характеризующими облака умеренных широт [2] для длин волн от видимого до субмиллиметрового диапазона в относительных окнах прозрачности атмосферы [3] с учетом поляризационных характеристик. Для каждой длины волны рассматривалось три варианта постановки задачи: первый – в облачном слое содержатся только мелкие капли, размером 1–20 мкм; во втором случае радиус капель варьируется от 1 до 85 мкм; в третьем случае при моделировании учитываются и сверхкрупные капли радиусом до 500 мкм. Оптические характеристики рассеивающего слоя вычислены с помощью дифракционной теории Ми алгоритмом Вискomba [4].

Представлены спектральная зависимость интенсивности излучения для рассматриваемых моделей рассеивающего слоя в окнах прозрачности атмосферы, временные распределения первой и второй компонент вектора Стокса  $I_{||}$ ,  $I_{\perp}$ , зависимость коэффициента деполаризации от концентрации крупных капель в рассеивающем слое.

1. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А., Дарбинян Р.А., Каргин Б.А., Еленов Б.С. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. М.: Наука, 1976.
2. Айвазян Г.М. Распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн в облаках. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 480 с.
3. Segelstein D. The Complex Refractive Index of Water, M.S. Thesis, University of Missouri–Kansas City. 1981. URL: <http://osmf.ssc.ru/~smp/intas.html>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ОКРЕСТНОСТЯХ НОВОСИБИРСКОГО ЭЛЕКТРОДНОГО ЗАВОДА ПО ДАННЫМ КОНТАКТНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Т.В. Ярославцева<sup>1</sup>, В.Ф. Рапута<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, raputa@sscc.ru

По данным космических снимков отчетливо проявляется осаждение на снежный покров аэрозолей промышленного происхождения. На снимках участки загрязненного снега выглядят как темноватые пятна, причем почернение изображения непосредственно зависит от степени запыления и отражает атмосферную динамику процессов переноса пыли от источника, что создает возможности их взаимной количественной интерпретации.

В докладе обсуждаются результаты данных наблюдений загрязнения снежного покрова и анализа ряда спутниковых снимков окрестностей Новосибирского электродного завода (НЭЗ). В рамках кинематической схемы описания процесса распространения в атмосфере тяжелой полидисперсной примеси предложена модель реконструкции данных маршрутных наблюдений полей аэрозольных выпадений. Выполнено численное восстановление полей выпадений различных примесей по данным экспериментальных исследований загрязнения снегового покрова пылью, ПАУ, ионными компонентами. Показано, что наиболее значительные выпадения измеренных компонентов происходят в ближней окрестности высотной трубы завода в составе крупных фракций частиц.

С использованием серии космоснимков окрестностей НЭЗ, выполненных в зимние периоды времени 2009–2011 гг., проведено исследование количественных связей оптической плотности изображений с восстановленной по наземным данным пространственной динамикой выпадений пыли на снеговой покров. Для оцифровки изображений ореолов и шлейфов загрязнений использовалась шкала серого цвета, что позволило провести количественный анализ связей между данными контактных и дистанционных наблюдений загрязнения снежного покрова в зоне влияния пылевых выбросов НЭЗ.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН 4.9.

## АНАЛИЗ ДАННЫХ СОПРЯЖЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В.Ф. Рапута<sup>1</sup>, Т.В. Ярославцева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, raputa@sscc.ru

<sup>2</sup>Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия

Представлен сравнительный анализ данных длительного загрязнения атмосферного воздуха, полученных на стационарных постах Росгидромета, и результатов мониторинга загрязнения снежного покрова в Новосибирске, Кемерово, Барнауле, Томске. Для Новосибирска эти исследования охватывают зимние периоды времени с 2008 по 2012 гг., для остальных городов – с 2008 по 2011 гг. В рамках линейного корреляционного анализа установлены количественные связи между концентрациями ряда компонентов примеси в снежном покрове и их газовыми и аэрозольными предшественниками в атмосфере городов, включая взвешенные вещества, сажу, бенз(а)пирен, оксиды азота и серы. Наиболее высокий уровень согласия получен между значениями концентраций: бенз(а)пирена в снеге – сажи, бенз(а)пирена в атмосфере; осадок в снеге – взвешенные вещества в воздухе. В большинстве случаев коэффициенты корреляции между концентрациями этих примесей достигают значений 0,8–0,9.

Вполне удовлетворительное согласие было выявлено между концентрациями окислов азота и серы в атмосфере и содержаниями соответствующих анионов в снеге. В ряде случаев были также установлены линейные корреляционные связи между содержаниями нитритов, нитратов в снеге и концентрациями окиси углерода. Для формальдегида была получена отрицательная связь с нитритами.

Результаты этих исследований могут быть использованы во многих крупных городах Сибири для взаимного контроля данных наблюдений в снеге и приземном слое воздуха, существенно дополнить в зимнее время стационарную сеть наблюдений и послужить основой для установления нормативных критериев (ПДК) загрязнения снежного покрова.



## ПРОГРАММА ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАТРИЦЫ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА АТМОСФЕРНЫХ ЧАСТИЦАХ

В.А. Осипов, А.В. Коношонкин

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, Viktor456a@mail.ru  
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Матрица рассеяния является общим решением задачи рассеяния света на атмосферных частицах. Она является объектом исследования в задаче дистанционного зондирования атмосферы, в частности при лидарных исследованиях атмосферы она измеряется экспериментально. В теоретических исследованиях эта матрица вычисляется различными методами, например методом дискретных диполей [1], методом Т-матриц [2], в приближении физической оптики [3]. Во всех этих случаях остро стоит проблема визуализации полученной матрицы, поскольку она имеет 16 элементов и зависит от нескольких параметров. При этом адекватная визуализация часто играет ключевую роль в понимании происходящих процессов.

В докладе представляется разработанная в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН компьютерная программа для визуализации матрицы рассеяния света на сфере направления рассеяния. Программа имеет удобный интерфейс, позволяет считывать матрицу в различных форматах, выводить ее в произвольном угловом масштабе в логарифмической и линейной шкале. Позволяет выводить любой из 16 элементов и сохранять результаты в графических файлах популярных форматов. Также позволяет проводить простой анализ матрицы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-00675а), РНФ (грант № 14-27-00022), гранта президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-4714.2014.5.

1. Yurkin M.A., Hoekstra A.G. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2011. V. 112. P. 2234–2247.
2. Peterson B., Ström S. // Phys. Rev. D. 1974. V. 10. P. 2670–2684.
3. Borovoi A.G., Grishin I.A. // J. Opt. Soc. Amer. A. 2003. V. 20. P. 2071–2080.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗИМНЕГО АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Э.А. Пьянова

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

Представлены результаты сценарных расчетов по моделированию процессов переноса пассивной примеси в атмосфере Байкальского региона в зимний период.

В численных экспериментах рассматривается зависимость распределения поля концентрации примеси от температурной стратификации атмосферы и направления фонового геострофического ветра. Расчеты проводились для ситуаций с замерзшим Байкалом и для случая с открытой водой. В сценариях моделирования источники выбросов располагались в Иркутске, Ангарске, Байкальске и др.

Работа выполняется при поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 8, Программы фундаментальных исследований № 1 Президиума РАН, проекта РФФИ № 14-01-00125-а.

## КОЭФФИЦИЕНТЫ УШИРЕНИЯ И СДВИГА ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ МОЛЕКУЛЫ ВОДЫ ДАВЛЕНИЕМ АРГОНА

Т.М. Петрова<sup>1</sup>, А.М. Солодов<sup>1</sup>, А.А. Солодов<sup>1</sup>, В.И. Стариков<sup>2</sup>, В.М. Дейчули<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, tanja@iao.ru*

<sup>2</sup>*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

<sup>3</sup>*Юргинский технологический институт, г. Юрга, Россия*

Данная работа посвящена исследованию коэффициентов уширения и сдвига линий поглощения молекулы воды давлением аргона в области 4000–9000 см<sup>-1</sup>.

Измерения спектра поглощения молекулы воды, уширенного давлением аргона, были выполнены в Институте оптики атмосферы СО РАН с помощью Фурье-спектрометра Bruker IFS 125HR. Спектр поглощения воды регистрировался при комнатной температуре и давлении 10,05 мбар со спектральным разрешением 0,01 см<sup>-1</sup>

и оптической длине 10 м. Давление буферного газа (аргона) варьировалось от 0 до 1 атм. Для аппроксимации линий поглощения использовался фойгтовский контур. Определены коэффициенты уширения и сдвига более чем для 400 линий поглощения, принадлежащим полосам  $\nu_1$ ,  $2\nu_2$ ,  $\nu_3$ ,  $\nu_1 + \nu_2$ ,  $\nu_2 + \nu_3$ ,  $\nu_1 + \nu_3$ ,  $2\nu_1$ ,  $2\nu_3$ ,  $\nu_1 + 2\nu_2$ ,  $2\nu_2 + \nu_3$ . Проведено сравнение с литературными данными.

Работа выполнена при поддержке программой ФНИ, пункт II.10.3.7.

## АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛИДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗ КОСМОСА

В.Н. Маричев<sup>1,2</sup>, Д.А. Бочковский<sup>1,2</sup>, И.В. Сорокин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [moto@iao.ru](mailto:moto@iao.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>3</sup>ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, г. Королёв, Россия

Проведено исследование лидарных измерений температуры из космоса методом упругого молекулярного рассеяния света. Произведен расчет погрешностей лидарных измерений температуры. В качестве передатчика лидара был взят твердотельный Nd:YAG-лазер с излучением на 3 и 4 гармониках с длинами волн 353 и 266 нм. Результаты анализа показали большую эффективность зондирования в УФ-диапазоне длин волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН 106, гранта РФФИ № 13-05-01036а, проекта РНФ № 14-27-00022 и гранта президента РФ НШ-4714.2014.5.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ С БОРТА МКС

В.Н. Маричев<sup>1,2</sup>, Д.А. Бочковский<sup>1,2</sup>, И.В. Сорокин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [moto@iao.ru](mailto:moto@iao.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>3</sup>ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, г. Королёв, Россия

Выполнен анализ оценки погрешностей лидарных измерений плотности средней атмосферы. Рассмотрен лидар с длинами волн 355 и 266 нм, размещенный на борту модуля РС МКС с диаметром иллюминатора 40 см и задачей измерений плотности атмосферы в диапазоне высот 40–100 км от поверхности Земли. Показано, что для длины волны 355 нм измерения с погрешностью менее 10% можно производить в интервале высот 40–100 км в любое время суток. На длине волны 266 нм измерения плотности атмосферы реализуемы в интервале высот 100–40 км с погрешностью менее 10% на границах и до 2% в центральной части интервала в любое время суток.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН 106, гранта РФФИ № 13-05-01036а, проекта РНФ № 14-27-00022 и гранта президента РФ НШ-4714.2014.5.

## МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УХОДЯЩЕГО ИЗ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ДЛИННОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ AIRS/AMSU–AQUA И РЕГИОНАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ REGCM4

Е.Ю. Мордвин, А.А. Лагутин, Н.В. Волков, К.М. Макушев

Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия, [zion0210@gmail.com](mailto:zion0210@gmail.com)

Проведено исследование межгодовой изменчивости потока уходящего из атмосферы длинноволнового излучения (УДИ) – ключевой компоненты радиационного баланса Земли. Информационной основой работы являлись данные зондирующего комплекса AIRS/AMSU спутника Aqua и результаты региональной климатической модели RegCM4.

Анализ данных AIRS/AMSU–Aqua, выполненный для зоны 50–70° с.ш., 55–95° в.д., показал, что в 2003–2013 гг. средняя скорость изменения (тренд) аномалий потока УДИ положительна в области 63–70° с.ш. и отрицательна – в области 54–63° с.ш. В южной части рассматриваемой зоны имеются области с трендами разных знаков. Для рассмотренной в докладе зоны они изменяются от –0,33 до +0,70 Вт/(м<sup>2</sup> · год).

Проведено сопоставление спутниковых данных с результатами региональной климатической модели RegCM4, полученными для сценариев A1B, B1 и A2 возможной эволюции глобальной климатической системы. Установлено, что для юга Западной Сибири спутниковые данные по скорости изменения аномалий интенсивности УДИ воспроизводятся лишь при сценарии A1B: тренды для рассматриваемого периода составляет  $-0,14 \text{ Вт/м}^2/10 \text{ лет}$  – по данным комплекса AIRS/AMSU–Aqua и  $-0,16 \text{ Вт/м}^2/10 \text{ лет}$  – по данным модели RegCM4. Обсуждаются причины, приводящие к установленному по спутниковым данным пространственному распределению уходящего излучения.

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

## КОНТИНУАЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В ПОЛОСАХ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

Т.Е. Климешина, О.Б. Родимова

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

Исследуются факторы, влияющие на величину континуального поглощения, извлекаемого из спектрального коэффициента поглощения. В качестве последнего используется коэффициент поглощения, рассчитанный с использованием контура, полученного на основе асимптотической теории крыльев линий [1]. В [2] на примере полосы  $4,3 \text{ мкм}$   $\text{CO}_2$  рассмотрено влияние на величину континуального поглощения вида аппаратной функции, границы локального вклада, выбора точек с минимальным поглощением и величины интервала сглаживания. Основную роль при извлечении континуального поглощения из полного коэффициента поглощения в пределах полосы играет величина границы локального вклада.

Отношение коэффициента континуального поглощения к полному коэффициенту поглощения остается постоянным в интервале значений частот, коррелирующих со значениями смещенных частот, на которых контур линии становится значительно меньше лорентцевского. Континуальное поглощение может быть определено однозначно при измерениях в крыльях полос. В пределах полос континуальное поглощение определяется неоднозначно и зависит от величины границы локального вклада.

Известно, что форма контура в крыльях линий различна для разных полос. В докладе полученные для полосы  $4,3 \text{ мкм}$  выводы проверяются на примере полос  $1,2$ ;  $1,4$  и  $2,7 \text{ мкм}$ .

Работа выполнена при поддержке Программы РАН 10.3, № 01201354620.

1. Несмелова Л.И., Родимова О.Б., Творогов С.Д. Контур спектральной линии и межмолекулярное взаимодействие. Новосибирск: Наука, 1986. 216 с.
2. Климешина Т.Е., Родимова О.Б. Континуальное поглощение  $\text{CO}_2$  в полосе  $4,3 \text{ мкм}$  // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XX Международного симпозиума. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2014. С. 23.

## АНАЛИЗ БИСТАТИЧЕСКИХ СХЕМ АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ВНЕ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

В.В. Белов, М.В. Тарасенков

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, TMV@iao.ru  
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Бистатистическая лазерная оптическая связь вне прямой видимости (Non-line-of-sight) является альтернативным способом передачи информации. Как показали эксперименты [1, 2], связь возможна как в УФ, так и в видимом диапазонах. Однако вопрос об оптимальных схемах связи до конца не решен. Определить оптимальные схемы связи возможно только с привлечением теоретических методов. Для расчета принимаемого излучения при произвольном исходном импульсе достаточно знать реакцию атмосферного канала на  $\delta(t)$ -импульс – импульсную переходную характеристику (ИПХ). Принимаемый сигнал формируется рассеянным излучением, поэтому эффективное моделирование ИПХ возможно только методом Монте-Карло. Предлагается новый алгоритм моделирования с использованием двойных локальных оценок в каждый временной интервал. Этот алгоритм намного эффективнее алгоритмов локальной оценки и классической двойной локальной оценки. Используя

предложенный алгоритм, на длине волны  $\lambda = 0,51$  мкм определены оптимальные условия связи. Некомпланарное расположение приемной системы ухудшает качество связи. С ростом зенитного угла источника качество связи повышается. Также положительно на качество связи влияет уменьшение расстояния от источника до точки пересечения объект – приемная система.

1. Белов В.В., Тарасенков М.В., Абрамочкин В.Н., Иванов В.В., Федосов А.В., Гриднев Ю.В., Троицкий В.О., Димаки В.А. Атмосферные бистатистические каналы связи с рассеянием. Часть 2. Полевые эксперименты 2013 г. // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 8. С. 659–664.
2. Chen G., Xu Z., Sadler B.M. // Optics Express. 2010. V. 18, N 10. P. 10500–10509.

## ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТИНУАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В ОКНЕ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ 8–12 мкм

К.М. Фирсов<sup>1</sup>, Т.Ю. Чеснокова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия, fkm.volsu@mail.ru

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, ches@iao.ru

В радиационных расчетах сложилась парадоксальная ситуация, когда модельеры стали широко использовать модель MT\_SKD, которая к настоящему времени насчитывает около десяти обновлений. Однако одна версия от другой отличается не очень значительно, и возникла иллюзия, что учет континуального поглощения паров воды проводится достаточно аккуратно. Тем не менее, результаты ряда лабораторных измерений [1, 2] демонстрируют, что модель MT\_SKD в макро- и микроокнах полос поглощения занижает коэффициенты континуального поглощения, обусловленные взаимодействием молекул водяного пара с молекулами воздуха (*foreign continuum*).

В работе представлены результаты расчетов восходящих и нисходящих потоков излучения в окне прозрачности 8–12 мкм для типичных условий умеренных широт с использованием модели MT\_SKD и эмпирической модели континуума, полученной на основе экспериментальных данных, приведенных в работе [1]. Моделирование показало, что для восходящих потоков излучения результаты расчетов были близки, тогда как для нисходящих потоков расхождения достигают 15%.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-05-97065.

1. Baranov Yu.I., Lafferty W.J. // Phil. Trans. R. Soc. A. 2012. V. 370. P. 2578–2589.
2. Paynter D.J., Ptashnik I.V., Shine K.P., Smith K.M., McPheat R., Williams R.G. // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. D21301.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ИЗ АТМОСФЕРНЫХ СПЕКТРОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ЛИНИЯМ ПОГЛОЩЕНИЯ

Т.Ю. Чеснокова<sup>1</sup>, А.В. Ченцов<sup>1</sup>, Н.В. Рокотян<sup>2</sup>, В.И. Захаров<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

Сделано сравнение атмосферных спектров солнечного излучения, вычисленных с использованием различных данных по линиям поглощения атмосферных газов, со спектрами, измеренными на наземном Фурье-спектрометре с высоким спектральным разрешением. Определено общее содержание атмосферных газов из измеренных спектров при использовании в прямой задаче разных современных спектроскопических банков данных. Показано, что значения атмосферного содержания метана, восстановленные с использованием двух последних версий спектроскопической базы данных HITRAN, отличаются почти на 3%, для углекислого газа наблюдалось меньшее различие.

## СРАВНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦАХ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ В ПРИБЛИЖЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Н.В. Кустова<sup>1</sup>, А.В. Коношонкин<sup>1,2</sup>, А.Г. Боровой<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [kustova@iao.ru](mailto:kustova@iao.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Влияние перистых облаков на радиационный бюджет Земли является в настоящее время одной из актуальных и, в значительной степени, нерешенных проблем атмосферной оптики. Для учета такого влияния требуется знать оптические характеристики перистых облаков: коэффициенты рассеяния, экстинкции и матрицу рассеяния.

В общем случае матрица рассеяния должна находиться как строгое решение уравнений Максвелла. Однако вычислительные возможности современных персональных компьютеров все еще не позволяют использовать строгое решение уравнений Максвелла для расчетов матриц рассеяния света на ледяных кристаллах перистых облаков. В таких случаях естественно использовать асимптотику уравнений Максвелла – приближение геометрической оптики. В данной работе проводится сравнение двух геометро-оптических алгоритмов: алгоритма трассировки лучей [1], реализованного А. Мачке [2], и алгоритма трассировки пучков [3], реализованного авторами [4]. Показано хорошее согласие результатов, рассчитанных данными алгоритмами. Приведены результаты анализа времени, затраченного на выполнение расчетов для различных вариантов усреднения по пространственной ориентации частиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 12-05-00675-а), РФФИ (№ 14-27-00022) и гранта президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-4714.2014.5.

1. Macke A., Mueller J., Raschke E. // J. Atmos. Sci. 1999. V. 53. P. 2813–2825.
2. Macke A. <<http://tools.tropos.de/>>
3. Borovoi A., Grishin I. // J. Opt. Soc. Amer. 2003. V. 20, N 11. P. 2071–2080.
4. Kustova N.V., Konoshonkin A.V., Borovoi A.G. <<https://github.com/sasha-tvo/Beam-Splitting/tree/master/Random Orientation/>>

## КОНТИНУАЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В ПОЛОСАХ 0,94 И 1,13 мкм

И.В. Пташник<sup>1</sup>, А.А. Симонова<sup>2</sup>, Р.А. McPheat<sup>3</sup>, К.Р. Shine<sup>4</sup>, К.М. Smith<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, радиофизический факультет, г. Томск, Россия, [anna678.tomsk@mail.ru](mailto:anna678.tomsk@mail.ru)

<sup>3</sup>Space Science and Technology Department, Rutherford Appleton Laboratory, Didcot, UK

<sup>4</sup>Department of Meteorology, University of Reading, Reading, UK

Континуальное поглощение водяного пара оказывает значительное влияние на радиационный баланс в атмосфере Земли. Данная работа посвящена восстановлению континуума, обусловленного взаимодействием молекул воды (так называемый «self-continuum»), из экспериментальных спектров водяного пара в полосах поглощения с центрами 8800 и 10600 см<sup>-1</sup>, и анализу применимости в этих полосах широко используемой в настоящее время полуэмпирической модели континуума MT\_CKD [1]. Экспериментальные данные были получены с помощью Фурье-спектрометра в лаборатории им. Резерфорда (Великобритания) в рамках гранта CAVIAR (<http://www.met.reading.ac.uk/caviar>).

При восстановлении континуума водяного пара определялся как разница между полным поглощением (экспериментальный спектр) и расчетным селективным вкладом линий водяного пара. Сравнение показало, что восстановленный из эксперимента континуум в полосах поглощения отличается от модели MT\_CKD наличием явно выраженных широких пиков поглощения. Ранее, в серии аналогичных измерений в ближнем ИК-диапазоне, было показано, что подобные пики обусловлены полосами поглощения димеров воды [2]. Для полос, исследованных в данной работе, наличие этих пиков self-continuum показано впервые.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований П.10.3.8 (проект ФНИ № 01201354620).

1. Mlawer E.J., Payne V.H., Moncet J.-L., Delamere J.S., Alvarado M.J., Tobin D.D. Development and recent evaluation of the MT\_CKD model of continuum absorption // Philos. Trans. R. Soc. A. 2012. V. 370. P. 2520–2556.
2. Ptashnik I.V., Shine K.P., Vigasin A.A. Water vapour self-continuum and water dimers: 1. Analysis of recent work // J. Quant. Spectros. Radiat. Transfer. 2011. V. 112. P. 1286–03.

## К ВОПРОСУ О ГИПОТЕЗЕ $sk$ -КОРРЕЛЯЦИИ

Ю.В. Богданова<sup>1</sup>, О.Б. Родимова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный педагогический университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, rod@iao.ru

Методика разложений в ряды экспонент или метод  $k$ -распределения является мощным и широко распространенным инструментом в расчетах радиационных характеристик поглощающей среды. В случае однородной трассы основной вычислительной процедуры является упорядочивание коэффициента поглощения в данном интервале по убыванию его значений. При рассмотрении неоднородных трасс нужно устанавливать соответствие между разложениями, отвечающими различным температурам и давлениям. Эта сложная задача обычно решается путем применения так называемого СКД-приближения ( $sk$ -корреляции), в рамках которого эти разложения считаются коррелирующими. СКД-приближение хорошо выполняется для радиационных расчетов в земной атмосфере, однако, может нарушаться в случае нестандартных термодинамических распределений.

Проблема  $sk$ -корреляции не возникает, если пользоваться точными формулами для получения коэффициентов разложения в ряды экспонент для неоднородных сред [1]. В [2] применение формул [1] по сравнению с формулами в приближении  $sk$ -корреляции для расчета радиационных потоков исследовалось на примере водяного пара.

В настоящей работе проблема справедливости СКД-приближения рассматривается для интервалов в полосах 15 мкм CO<sub>2</sub> и 9,6 мкм O<sub>3</sub>. Обсуждаются вопросы корреляции оптических толщ, а также необходимые и достаточные условия применимости СКД-приближения.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН 10.3, № 01201354620.

1. Tvorogov S.D., Nesmelova L.I., Rodimova O.B.  $k$ -distribution of transmission function and theory of Dirichlet series // J. Quant. Spectros. Radiat. Transfer. 2000. V. 66. P.243–262.
2. Tvorogov S.D., Rodimova O.B., Nesmelova L.I. On the correlated  $k$ -distribution approximation in atmospheric calculations // Optical Engineering. 2005. V. 44, N 7. P. 071202-1–071202-10.

## О ПОСТАНОВКАХ ЗАДАЧ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Е.А. Цветова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, e.tvetova@omm.gp.sccc.ru

В связи с тем, что на дне оз. Байкал открыты значительные залежи метановых гидратов, возникла потребность в рассмотрении нового класса задач гидротермодинамики для изучения физических процессов в специфических условиях озера, а также для прогнозирования изменений качества водной среды с учетом возможных механизмов трансформации в системе «гидрат–газ–вода».

В развитие работ [1, 2] предлагается новая версия математической модели, описывающая совместные процессы гидротермодинамики, переноса и трансформации метана в водной толще. Метан в системе представлен тремя фазами: твердые частицы (гидрат), газ (пузыри) и растворенный в воде.

Обсуждаются возможные постановки задач и анализируются предварительные результаты расчетов.

Работа выполняется при поддержке Президиума РАН, Программ фундаментальных исследований № 1 и 23 и РФФИ (проект № 14-01-00125-а).

1. Цветова Е.А. Моделирование локальных явлений, связанных с присутствием метана в водной толще озера Байкал: Сб. материалов 39 конференции «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования». ЮФУ. Ростов-на-Дону, 2011. С. 230–234.
2. Гранин Н.Г., Козлов В.В., Цветова Е.А., Гнатовский Р.Ю. Полевые исследования и некоторые результаты численного моделирования кольцевой структуры на льду озера Байкал // Доклады РАН (в печати).

## ОДНОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ ВБЛИЗИ АЭРОПОРТА

М.В. Терентьева, Г.И. Ситников, А.В. Старченко

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, mariya-terenteva@mail.ru*

Изучение атмосферных процессов, происходящих в планетарном пограничном слое, имеет большое значение для решения различных прикладных задач. Одним из основных инструментов в исследовании атмосферы является математическое моделирование.

Была разработана метеорологическая модель высокого разрешения для прогноза и исследования погодных явлений, включающая современную схему микрофизики влаги – микрофизику «теплого дождя», предложенную Кесслером [1]. Предполагалось, что в атмосфере влага может присутствовать только в виде водяного пара, облачной и дождевой воды. Учитывались процессы аккреции, автоконверсии, конденсации и испарения. Для моделирования радиационного переноса тепла как при ясном небе, так и при наличии облачности используется подход, основанный на делении всего спектра излучения на коротковолновую и длинноволновую составляющие [2]. В настоящее время модель тестируется на реальных условиях.

Произведенное сравнение результатов разработанной модели с результатами трехмерной микромасштабной математической модели TSU-NM3, данными реальных погодных условий, полученными с метеостанции, находящейся в аэропорту Богашево(WXT-520) и данными, полученными из архива погоды сайта meteo.infospace.ru показывает хорошую согласованность.

Работа выполнена по Государственному Заданию Министерства образования и науки РФ, № 5.629.2014/К.

1. Kessler E. On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulation: Meteorology monograph // Bulletin of the American Meteorological Society. 1969. N 32. P. 84–112.
2. Hurley P. The Air Pollution Model (TAPM) Version 2 / CSIRO Atmospheric Research Technical Paper N 55. 2002.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА С ПОВЕРХНОСТНЫМ ЗАРЯДОМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ ЗЕМЛИ

Г.М. Белокуров

*Кемеровский институт углехимии и химического материаловедения СО РАН,  
г. Кемерово, Россия, belogeml@rambler.ru*

По результатам измерения зависимости проводимости воздуха от влажности и насыщения его избыточным объемным отрицательным зарядом объясняется:

- 1) проводимость воздуха пропорциональна плотности заряда и обратно пропорциональна влажности воздуха;
- 2) в формировании циклонических и грозовых образований значение энергии электрического поля Земли соизмеримо с термодинамической энергией разогретых влажных масс воздуха.

## ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ САЛЬТИРУЮЩИХ ПЕСЧИНОК ДЛЯ 4 ТИПОВ ТРАЕКТОРИЙ

Г.И. Горчаков, А.В. Карпов, В.М. Копейкин, А.В. Соколов, Д.В. Бунтов

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

В работах [1, 2] решены обратные задачи динамики невращающихся и вращающихся сальтирующих на опустыненных территориях песчинок с максимальной высотой полета 4–5 мм.

Показано, что для квазивертикальных траекторий в условиях «штиля» траекторный анализ позволяет оценить вертикальную компоненту напряженности электрического поля.

Для квазигоризонтальных траекторий с высотой полета 2–5 мм оценивается скорость ветра на высоте полета и возможное влияние на наблюдаемую траекторию горизонтальной компоненты напряженности электрического полета.

Разработана методика решения обратной задачи для траекторий в нижнем миллиметровом слое ветропесчаного потока с учетом силы Сэфмана, подъемной силы и электрической силы.

1. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Соколов А.В., Бунтов Д.В., Злобин И.А. Экспериментальное и теоретическое исследование траекторий сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 25, № 6. С. 501–506.
2. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Копейкин В.М., Злобин И.А., Бунтов Д.В., Соколов А.В. Исследование динамики сальтирующих песчинок на опустыненных территориях // Доклады РАН. 2013. Т. 452, № 6. С. 669–676.

## СТРУКТУРНЫЕ ФУНКЦИИ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

И.В. Невзорова, В.А. Гладких, С.Л. Одинцов

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

Приводятся результаты сопоставления структурных функций температуры (СФТ) воздуха, полученных на трех различных уровнях в приземном слое атмосферы. Такое же сопоставление проведено и для элементов структурного тензора вектора ветра (СТВ). Исходный экспериментальный материал был получен с помощью ультразвуковых метеостанций (УЗМ) «Метео-2» в теплое время года на открытой площадке с естественным ландшафтом. Анализ проведен для различных вариантов размещения УЗМ (разные высоты измерителей и разное расстояние между ними в горизонтальной плоскости). Получена статистика типов СФТ и СТВ на разных уровнях и проведено сопоставление типов на одних и тех же интервалах времени обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектом ОФН РАН № IV.10.1 (программа IV.10 «Фундаментальные основы акустической диагностики искусственных и природных сред») с использованием оборудования ЦКП ИОА СО РАН «Атмосфера».

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ СОПРЯЖЕННЫХ ИНТЕГРИРУЮЩИХ МНОЖИТЕЛЕЙ В МОДЕЛЯХ ДИНАМИКИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

В.В. Пененко

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

Представлены новые методы для решения систем дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений переноса и трансформации многокомпонентных газовых примесей и аэрозольных популяций на основе вариационных принципов и концепции интегрирующих множителей [1, 2]. В результате применения нашей технологии, кроме систем основных и сопряженных уравнений получают также методы теории чувствительности моделей и оценок неопределенностей, и на их основе – прямые методы вариационного усвоения доступных данных наблюдений.

Техника сопряженных интегрирующих множителей позволяет строить безусловно монотонные дискретно-аналитические численные схемы. Для построения безытерационных схем осуществляется декомпозиция сложных операторов трансформации по механизмам реакций с учетом их характерных масштабов. Это необходимо для согласованного описания разномасштабных процессов химической кинетики, а также механизмов динамики аэрозольных популяций: коагуляции, конденсации/испарения, нуклеации, конверсии типа «газ–частица».

Работа частично поддержана Программами фундаментальных исследований № 1 и 4 Президиума РАН, проектом РФФИ № 14-01-00125-а, а также Интеграционными проектами № 8 и 35 СО РАН.

1. Penenko V.V., Tsvetova E.A. Variational methods of constructing monotone approximations for atmospheric chemistry models // Numerical analysis and applications. 2013. V. 6, N 3. P. 210–220.
2. Penenko V.V., Tsvetova E.A., Penenko A.V. Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies // Computers and Mathematics with Applications. 2014. V. 67, iss. 12. P. 2240–2256.



## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СОГЛАСОВАННОСТЬ ОЦЕНОК СТРУКТУРНЫХ ФУНКЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

**И.В. Невзорова, В.А. Гладких, С.Л. Одинцов**

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

В обычных условиях оценки различных статистических характеристик атмосферной турбулентности проводятся на основе анализа временных рядов наблюдений того или иного параметра (температуры воздуха в том числе). В то же время, классическая теория атмосферной турбулентности оперирует, как правило, с ансамблями реализаций и со статистическими характеристиками (структурными функциями в том числе), полученными в разнесенных по пространству точках. Для перехода от «времени» к «пространству» используются различные гипотезы (например, гипотеза об эргодичности процесса), выполнение которых обеспечивает адекватность оценок при обоих подходах.

В летнее время 2014 г. на экспериментальной площадке БЭК ИОА СО РАН была проведена серия экспериментов по измерению характеристик турбулентности с помощью ультразвуковых анемометров–термометров в разнесенных по высоте и по горизонту точках. Это позволило провести сопоставление некоторых характеристик турбулентности с точки зрения их согласованности «по пространству и времени». В докладе рассмотрены результаты оценок структурных функций температуры воздуха для согласующихся сдвигов во временной и пространственной области (в диапазоне от 2 до 12 м) при высотах наблюдений от 1,84 до 5,7 м и разное по горизонтальной плоскости от 1,5 до 11,3 м.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектом ОФН РАН № IV.10.1 (программа IV.10 «Фундаментальные основы акустической диагностики искусственных и природных сред») с использованием оборудования ЦКП ИОА СО РАН «Атмосфера».

## ЧИСЛЕННОЕ СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

**О.В. Сересева, В.А. Огородников**

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, seresseva@mail.ru; ova@osmf.sccc.ru*

На основе численных стохастических моделей негауссовских метеорологических полей строятся алгоритмы моделирования условных полей при различных условиях, накладываемых на значения метеорологического элемента в фиксированных точках. Например, при расчете различных характеристик аномальных режимов выпадения осадков можно использовать подход, в рамках которого соответствующие ситуации находятся путем прямого моделирования реализаций полей осадков. Более экономичный подход состоит в непосредственном моделировании условных реализаций метеорологических полей при заданных условиях, что требует разработки соответствующих алгоритмов. В данной работе предлагается один из подходов к решению этой задачи. Он основан на специальных преобразованиях условных гауссовских полей, алгоритмы моделирования которых предложены в работах [1, 2]. На основе условных моделей проведены расчеты по оценке различных статистических характеристик аномальных осадков для различных сценариев выпадения осадков в некоторой заданной области. Аналогичные расчеты проводились также для полей приземной температуры воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-05-00169-а и гранта Президента Российской Федерации НШ-5111.2014.1.

1. Ogorodnikov V.A., Prigarin S.M. Numerical modelling of random processes and fields: algorithms and applications // VSP. Utrecht, the Netherlands. 1996. 240 p.
2. Ogorodnikov V.A., Kargopolova N.A., Seresseva O.V. Numerical stochastic model of spatial fields of daily sums of liquid precipitation // Russ. J. Num. Anal. Math. Modelling. 2013. V. 28, N 2. P. 187–200.

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА РЕКИ С ПОМОЩЬЮ СОВМЕСТНОЙ ЧИСЛЕННОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СУТОЧНОГО РЕЧНОГО СТОКА И ПРОСТРАНСТВЕННО ВРЕМЕННЫХ ПОЛЕЙ СУТОЧНЫХ СУММ ЖИДКИХ ОСАДКОВ

В.А. Огородников, В.А. Шлычков

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

*Институт водных и экологических проблем СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, ova@osmf.ssc.ru, slav@iwep.nsc.ru*

Работа посвящена разработке методов оценки некоторых статистических характеристик речного стока в зависимости от различных режимов выпадения осадков в районе водосбора р. Бердь. Для этих целей была использована разработанная ранее параметрическая численная стохастическая модель совместных негауссовских пространственно-временных полей суточных сумм жидких осадков и рядов суточного речного стока на основе реальных данных на гидропостах Маслянино и Искитим за период 1969–1983 гг. При построении одно-родного поля осадков использовалась корреляционная функция, адаптированная к изучаемому водосбору. Для учета взаимных корреляционных связей суточных осадков и стока использовалась специальная аппроксимация совместной корреляционной матрицы поля осадков в узлах сетки и на гидропостах, сохраняющая положительную определенность матрицы. На основе этой модели с помощью методики, предложенной в работе [1] построена численная стохастическая модель условных полей осадков и стока при заданных сценарных осадках в водосборе. Представлены расчеты по оценке статистических характеристик стока для различных режимов выпадения осадков.

1. *Ogorodnikov V.A., Kargopolova N.A., Seresheva O.V.* Numerical stochastic model of spatial fields of daily sums of liquid precipitation // Russ. J. Num. Anal. Math. Modelling. 2013. V. 28, N 2. P. 187–200.

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНТИНУАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ПОЛОСАХ 2,7 И 6,25 мкм ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

И.В. Пташник, Т.Е. Климешина, Т.М. Петрова, Ю.Н. Пономарёв,  
А.А. Солодов, А.М. Солодов

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

Исследовано континуальное поглощение в чистом водяном паре в двух наиболее сильных полосах поглощения ближнего ИК-диапазона, при пониженных температурах. Экспериментальные данные получены в Институте оптики с помощью с помощью Фурье-спектрометра, сопряженного с многоходовой оптической кюветой.

Целью работы являлась проверка гипотезы о разной природе происхождения отдельных спектральных пиков континуума в данных полосах. Ранее в [1] была высказана идея о том, что часть наблюдаемых пиков, которые не соотносятся с полосами стабильных димеров, может принадлежать метастабильными (квазисвязанным) димерам. Температурная зависимость интенсивности таких пиков должна быть слабее, чем для пиков, обусловленных стабильными димерами. Измерения были проведены в диапазоне температур от 15 до  $-10$  °С. Для расширения температурного диапазона были также использованы данные, полученные ранее в [1]. В результате анализа были получены уточненные температурные зависимости интенсивностей разных спектральных особенностей континуума в исследованных полосах и сделана спектроскопическая оценка вероятной доли метастабильных димеров при температурах приближенных к атмосферным.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-00382.

1. *Ptashnik I.V., Shine K.P., Vigin A.A.* Water vapour self-continuum and water dimers: 1. Analysis of recent work // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2011. V. 112. P. 1286–03.

## ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ КОНВЕКЦИИ–ДИФфуЗИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ СПЛАЙН-АППРОКСИМАЦИЮ

А.А. Карпова, А.В. Старченко

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, siriys.tomsk@mail.ru*

При численном моделировании переноса аэрозоля часто используется нестационарное конвективно-диффузионное уравнение. В предлагаемой работе рассматриваются несколько численных методов решения этого уравнения с использованием сплайнов. Задача переноса примеси или аэрозоля решается методом конечных объемов на равномерной пространственно-временной сетке. При построении двух разностных схем искомая функция приближалась кубическими сплайн-функциями: интерполяционной весовой, построенной через наклоны, и аппроксимационной базисной [1]. Для интерполяционного сплайна был рассмотрен алгоритм, позволяющий подбирать весовые коэффициенты для обеспечения монотонности получаемых расчетных данных. Также в работе рассматривалась разностная схема, в которой конвективный член уравнения приближался методом противопотоковой аппроксимации первого порядка точности.

Численные эксперименты для одномерного уравнения конвекции–диффузии с известным аналитическим решением показали достаточно высокую точность полученной монотонной разностной схемы, использующей весовой интерполяционный сплайн. Результаты противопотоковой схемы первого порядка точности, характеризующейся значительной схемной диффузией, оказались несколько хуже. Наихудший результат показал численный метод, использующий аппроксимационный базисный сплайн. Это обусловлено тем, для этого сплайна не требуется выполнение условий интерполяции. Вследствие этого данная сплайн-функция чрезмерно сглаживает резкие скачки исходных данных.

Работа выполнена по Государственному заданию Министерства образования и науки РФ № 5.628.2014/К.

1. Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л. Методы сплайн-функций / Под ред. Н.Н. Яненко. М.: Наука, 1980. 352 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД УРБАНИЗИРОВАННЫМ И ФОНОВЫМ РАЙОНОМ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

П.Н. Антохин<sup>1</sup>, О.Ю. Антохина<sup>1</sup>, М.Ю. Аршинов<sup>1</sup>, Б.Д. Белан<sup>1</sup>, Д.К. Давыдов<sup>1</sup>,  
А.А. Кобзев<sup>2</sup>, О.А. Краснов<sup>1</sup>, А.Е. Тельминов<sup>2</sup>, А.В. Фофонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, apn@iao.ru*

<sup>2</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

Определение высоты пограничного слоя атмосферы (ПСА) является важной задачей при моделировании распространения малых газовых примесей и аэрозолей. В настоящее время существует ряд методик ее параметризации, которые основаны на данных измерений величины потоков тепла, момента импульса, турбулентного масштаба длины Монина–Обухова и ряда основных метеорологических величин.

В представленном исследовании приводятся результаты сравнения высоты ПСА, определенной экспериментально, с высотой, полученной в ходе численных расчетов.

Расчеты высоты ПСА проведены для двух различных условий (городская застройка и фоновый район). Первый пункт измерений оснащенный ультразвуковым анемометром АМК-3 расположен на территории Томского Академгородка на крыше Института мониторинга климатических систем. Высота установки от поверхности земли 30 м (от поверхности крыши 12 м). Второй пункт – пост измерения парниковых газов Российско-японского проекта «TOWERS» расположен в бореальном лесу, недалеко от пос. Берёзаречка (Фоновый район). Высота установки ультразвукового анемометра Gill HS-50 80 м от поверхности земли.

Для определения реальной высоты ПСА использовались вертикальные профили виртуальной потенциальной температуры полученные при аэрологическом зондировании выполненном на территории Томского Академгородка и самолетном зондировании проводимом над постом мониторинга парниковых газов Берёзаречка.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 70 и 131, гранта РФФИ № 14-05-00590, Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЫМОВЫХ ШЛЕЙФОВ И КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ПЕРИОД ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ЛЕТА 2012 г. В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.А. Барт, А.В. Старченко

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, bart@math.tsu.ru*

Летом 2012 г. на территории Томской области и в Красноярском крае наблюдались интенсивные лесные пожары, приводящие в штилевых условиях к существенному задымлению атмосферного воздуха во многих городах Сибири. В данной работе для моделирования качества воздуха в городе Томск был выбран период 26–27 июля 2012 г., так как именно 27 июля в Томске наблюдалась максимальная задымленность [1]. В работе приведены результаты численного моделирования метеорологических условий для указанного периода с использованием метеорологических моделей WRF и TSU-NM3, разработанной в ТГУ. В качестве начальных данных использовались данные глобального метеорологического прогноза по модели ПЛАВ и данные реанализа GFS [2]. С учетом сложившихся метеорологических условий, рассчитано распространение примеси от очагов пожаров. Проведено исследование вклада поступающих газообразных продуктов горения в качество атмосферного воздуха в городе Томске с учетом вторичных химических реакций между компонентами примеси. Численное моделирование переноса примеси с учетом химических реакций проводилось с использованием моделей CAMx и модели переноса примесей, разработанной в ТГУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 12-01-00433а.

1. Рахимов Р.Ф., Козлов В.С., Панченко М.В., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П. Свойства атмосферного аэрозоля в дымовых шлейфах лесных пожаров по данным спектрофелометрических измерений // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 2. С. 126–133.
2. Зуев В.В., Шелехов А.П., Шелехова Е.А., Старченко А.В., Барт А.А., Богословский Н.Н., Проханов С.А., Кижнер Л.И. Измерительно-вычислительный комплекс для мониторинга и прогноза метеорологической ситуации в аэропорту // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26, № 8. С. 695–700.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ ОТ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ С МОДЕЛЬНЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ОСТРОВА ТЕПЛА

Л.И. Курбацкая

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

Представлены результаты компьютерного моделирования рассеяния пассивной примеси от протяженного поверхностного источника над модельным островом тепла при условии наличия устойчивой термической стратификации и запирающей инверсии. Эйлера модель распространения примеси построена на основе трехпараметрической теории турбулентного переноса и включает дифференциальные уравнения переноса для средней концентрации и корреляции между турбулентными флуктуациями концентрации и температуры. Для вектора турбулентного потока примеси сформулирована полностью явная анизотропная алгебраическая модель градиентного типа. Результаты численного моделирования показывают, что факел примеси распространяется выше инверсионного слоя. Проведено сопоставление результатов моделирования турбулентной диффузии пассивной примеси по алгебраической модели для турбулентного потока массы, физически корректно учитывающей эффекты плавучести, и по простейшей модели Буссинеска без учета эффектов плавучести. Модель Буссинеска существенно занижает как вертикальную, так и горизонтальную диффузию примеси, что приводит к накоплению примеси вблизи поверхности.

Моделирование распространения пассивной примеси от протяженного поверхностного источника над модельным островом тепла преследовало основную цель – выяснить роль эффектов плавучести на распределение средней концентрации примеси. Следует при этом отметить, что поскольку нет экспериментальных измерений по рассеянию примеси от поверхностного источника над модельным островом тепла, то нет и возможности подвергнуть результаты численной реализации диффузионной модели прямой количественной проверке. Однако о степени их достоверности можно судить по косвенным признакам. Во-первых, аналогичная по своей сути мо-

дель переноса активной примеси (тепла) дает результаты, вполне удовлетворительно согласующиеся с данными прямых инструментальных измерений. Во-вторых, точность численного решения проверена на последовательных измельченных сетках ( $25 \times 116$  узлов по горизонтали и вертикали, соответственно, и сетке  $50 \times 232$  узла).

Работа выполнена при поддержке Программы РАН № 1 и гранта РФФИ № 14-01-00125-а.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

**С.И. Ерин, Н.Н. Богословский**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, sergei.erin@mail.ru*

Космические средства дистанционного зондирования Земли в настоящее время получили очень широкое применение во всем мире, выросло разнообразие аппаратов и общее их количество. Спутниковая информация используется для решения многих хозяйственных и научных задач мониторинга окружающей среды. К достоинствам спутников можно отнести наличие современных систем дистанционного зондирования, возможность наблюдения поверхности Земли в любое время суток, независимо от состояния атмосферы, большую зону покрытия, эффективную передачу данных и высокую плотность наблюдений [1].

Одной из важнейших и сложнейших проблем для метеорологов является проблема повышения точности прогнозирования. Для повышения качества численных прогнозов необходимо более полно учитывать фактическое состояние суши и атмосферы. Большое значение играет учет влажности почвы, что было доказано в европейском центре среднесрочных прогнозов погоды [2].

Одним из эффективных способов повышения точности прогнозирования в данном случае является применение методов фильтрации к исходным данным, полученным со спутника. В работе рассматриваются различные методы фильтрации спутниковых данных наблюдений и проводится сравнение их между собой.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (№ 5.628.2014/К).

1. *Wagner W. et al.* The ASCAT soil moisture product: A review of its specifications, validation results, and emerging applications // *Meteorologische Zeitschrift*. 2013. V. 22, N 1. P. 5–33.
2. *Mahfouf J.-F.* Analysis of soil moisture from near-surface parameters: A feasibility study // *J. Appl. Meteor.* 1991. V. 30. P. 1534–1547.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

**Г.И. Ситников, М.В. Терентьева, А.В. Старченко**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, SGI93@mail.ru*

Одной из проблем, связанных с авиаперелетами, является возможность обледенения воздушных судов. Для борьбы с данной проблемой разработаны как практические, так и теоретические методы: механический способ, физико-химический способ, синоптический метод прогноза обледенения и метод Годске.

Был разработан способ прогнозирования обледенения, основанный на синоптическом и методе Годске. Сначала из профилей температуры и облачности находились слои атмосферы, которые удовлетворяют условиям: наличие облачности и большой перепад температуры. Затем данные области проверялись по методу Годске. Далее определяется температура насыщения надо льдом. Если температура насыщения надо льдом выше температуры окружающего воздуха, то на данном уровне атмосферы следует ожидать обледенение.

Для получения исходных данных использовалась мезомасштабная метеорологическая модель высокого разрешения ТГУ [1]. Расчеты произведены для области над аэропортом Богашево 22 октября 2012 г. В этот день измерительными приборами, было зафиксировано обледенение воздушных судов. Результаты работы визуализированы.

Работа выполнена по Государственному заданию Министерства образования и науки РФ, № 5.629.2014/К.

1. *Старченко А.В., Беликов Д.А.* Численная модель для оперативного контроля уровня загрязнения городского воздуха // *Оптика атмосферы и океана*. 2003. Т. 16, № 7. С. 657–665.

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О РАСПРОСТРАНЕНИИ КОНСЕРВАТИВНОЙ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ

**В.В. Чуруксаева, А.В. Старченко**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, Chu.VV@mail.ru*

Одной из актуальных задач современных наук о Земле является изучение распространения выбросов в атмосферу или водоем от промышленных предприятий. Важной частью таких расчетов является решение конвективно-диффузионного уравнения. При моделировании процессов, протекающих в естественных условиях, геометрия рассматриваемой области, как правило, довольно сложна, потому предпочтительным становится использование неструктурированных сеток.

В данной работе представлены результаты численного решения задачи о распространении консервативной примеси в атмосфере, математическая формализация которой представляет собой задачу Неймана для двумерного нестационарного уравнения конвекции диффузии. Дискретный аналог задачи был построен методом конечного объема для нескольких типов неструктурированных треугольных сеток и представляет собой явную разностную схему первого порядка точности.

Тестирование численного метода проводилось на решении задачи о распространении примеси из постоянного источника и задаче о мгновенном точечном источнике. Сравнение с численного решения с точным для задачи о мгновенном источнике и решением, полученным на структурированной сетке, показало, что при одинаковом числе ячеек использование неструктурированных сеток позволяет получить решение с большей точностью.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ № 5.628.2014/К.

## ЭФФЕКТЫ ИНВЕРСИОННОГО СЛОЯ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ХОЛОДНОГО АТМОСФЕРНОГО ФРОНТА НАД ИЗОЛИРОВАННЫМ ПРЕПЯТСТВИЕМ

**М.С. Юдин**

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

Представлены результаты моделирования распространения сформировавшегося холодного атмосферного фронта с помощью двумерной модели конечных элементов над орографическими препятствиями различной формы. Использование конечных элементов позволяет проводить моделирование для препятствий со значительной крутизной. Поверхность фронта описывается отдельным уравнением со специальной конструкцией подавления нефизических осцилляций. Расчеты проводились для различных типичных значений параметров орографических структур и температурной стратификации. Показано сильное замедление потока при крутой орографии, а также хорошо моделируется эффект блокирования воздушного потока вблизи поверхности. Приводятся значения наветренной и подветренной скоростей потока в зависимости от стратификации и формы препятствия.

Наконец показано, что введение блокирующего слоя инверсии над препятствием при устойчивой стратификации окружающей атмосферы приводит к усилению вертикальных скоростей. Тем самым увеличивается поток тепла, что усиливает вовлечение окружающего теплого воздуха. Это, в свою очередь, приводит к значительному уменьшению скорости распространения фронта.

Работа поддержана программами № 1 и 4 Президиума СО РАН, № 3 Отделения математических наук РАН, и грантом 14-01-00125-а РФФИ.

# АЭРОЗОЛЬ И КЛИМАТ

## ВЛИЯНИЕ ТРОПОСФЕРНЫХ СУЛЬФАТНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА ГЛОБАЛЬНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ ЦИКЛ

**А.В. Елисеев**

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия [eliseev@ifaran.ru](mailto:eliseev@ifaran.ru)  
Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия*

Климатическая модель (КМ) Института физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук (ИФА РАН), учитывающая влияние тропосферных сульфатных аэрозолей (ТСА) на климат, в данной работе расширена также учетом поражающего влияния этих аэрозолей на фотосинтезирующие органы растений. С КМ ИФА РАН проведены численные эксперименты для 1700–2300 гг. в соответствии со с условиями международного проекта сравнения климатических моделей CMIP5 (Coupled Models Intercomparison Project, phase 5, учитывающих основные естественные и антропогенные воздействия на земную климатическую систему. При этом проведены расчеты с двумя версиями КМ ИФА РАН, в одной из которых учитывается поражающее действие сульфатов на растения, а в другой – не учитывается. Это позволило выделить климатическое (связанное с влиянием сульфатов на климат и за счет этого – на углеродный цикл) и экологическое (связанное с поражающим действием ТСА на растения) воздействия сульфатных аэрозолей на глобальный углеродный цикл. В расчетах получено, что на глобальном масштабе климатическое воздействие ТСА доминирует над экологическим. На региональном масштабе, однако, эффект от экологического воздействия сульфатов оказывается сравнимым с эффектом от их климатического воздействия.

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЛАЧНОГО ПОКРОВА В СИБИРСКОМ СЕКТОРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 45 ЛЕТ

**Н.Я. Ломакина, В.С. Комаров, С.Н. Ильин, А.В. Лавриненко**

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [lnya@iao](mailto:lnya@iao)*

Важную роль в изменении глобального и регионального климатов играют долговременные изменения состояния облачного покрова, влияющие на вариации приземной температуры. Характеристики облачного покрова относятся к числу наиболее изменчивых во времени и пространстве, поэтому они требуют их постоянной переоценки по мере поступления новых данных.

В работе рассмотрены результаты статистического анализа региональных особенностей долговременного изменения облачного покрова над территорией Сибири по данным климатического районирования этого региона по режиму общей и нижней облачности, проведенного с использованием 45-летних (1969–2013 гг.) рядов метеорологических наблюдений 60 станций, расположенных в Сибирском секторе Северного полушария. Исследование тенденций долговременного изменения общей и нижней облачности основано на использовании линейных трендов и коэффициентов их наклона (интенсивности) в баллах/10 лет.

Установлено, что во все сезоны и за год в целом при пространственном осреднении данных по всему Сибирскому сектору, а также по территории Западной и Восточной Сибири в отдельности, в течение базового 45-летнего периода (1969–2013 гг.), а также в 1976–2005 гг., когда наблюдалось интенсивное глобальное потепление, проявилась явная тенденция к увеличению количества общей и нижней облачности. В последние годы (2006–2013 гг.), когда появилась тенденция к ослаблению интенсивности глобального потепления, на территории всего Сибирского сектора во все сезоны (кроме осеннего) и в целом за год имело место существенное уменьшение количества общей и нижней облачности.

## ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ САЖИ В АРКТИКУ

**В.В. Зуев, Н.Е. Зуева, Е.С. Савельева**

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

Сажа оказывает значимое влияние на климат Арктики. Почернение снега уменьшает его альбедо и способствует его ускоренному таянию. В атмосфере сажа, окисляясь, становится гидрофильной, что определяет ее значительную роль в процессах облакообразования и осадках.

Основные источники сажи находятся географически далеко от Арктики, поэтому ее появление там связано с дальними трансграничными переносами. На низких трассах сажа, впитывающая влагу, быстро осаждается недалеко от точки выброса. Однако на высотах более 0,5 км сажа способна распространяться на тысячи километров.

В докладе на основе траекторных расчетов с помощью модели NOAA HYSPLIT рассмотрены траектории от трех основных источников сажи, способных забросить ее на высоты более 0,5 км: постоянно действующие факелы нефтедобывающей провинции Соммерсет, весенне-летние лесные пожары и извержения вулканов.

Высота выброса факела существенно зависит от скорости ветра, однако при относительно штилевой погоде она может достигать 600 м. Высота выброса сажи при лесном пожаре может достигать тропопаузы при формировании огненного торнадо. Вулканы при плиннианском типе извержения способны выбрасывать сажу в стратосферу.

Показано, что анализируемые траектории воздушных масс систематически достигают арктических регионов.

## МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА САЖЕВОГО АЭРОЗОЛЯ В НИЖНЮЮ СТРАТОСФЕРУ ПРИ ВЫСОТАХ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ВЫБРОСА НИЖЕ ТРОПОПАУЗЫ

**Е.С. Савельева, В.В. Зуев, Н.Е. Зуева**

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
г. Томск, Россия, kapitosh89@gmail.com*

Появление в стратосфере вулканогенного аэрозоля обычно связано с мощными вулканическими извержениями плиннианского типа, когда выбрасываемые продукты формируют газопепловые эруптивные колонны, достигающие стратосферных высот. Возникающие всплески аэрозольного содержания в стратосфере регистрируются лидарами. Однако в ряде случаев лидары фиксируют появление аэрозольных слоев в стратосфере после извержений с высотой выброса ниже тропопаузы. Например, максимальная высота выброса при извержении исландского вулкана Эйяфьятлайёкудль 14 апреля 2010 г. составляла 9,3 км при высоте тропопаузы ~11 км. Однако лидарные наблюдения, проводимые в этот период в разных регионах Северного полушария, фиксировали аэрозольные слои на высотах, превышающих высоту вулканического выброса. В частности, 20 и 23 апреля были зарегистрированы аэрозольные слои в стратосфере над Германией, на высотах до 14,5 км [1].

Рассмотрен механизм конвективного подъема легких фракций эруптивной тучи, протекающего с разрушением тропопаузы. С использованием траекторной модели NOAA HYSPLIT и общедоступных глобальных температурных данных Университета Вайоминга исследовано влияние вулканических облаков, содержащих наноразмерный сажевый аэрозоль, на температурный режим верхней тропосферы и нижней стратосферы.

1. Trickl T., Giehl H., Jäger H., Vogelmann H. // Atmos. Chem. Phys. 2013. V. 13, N 10. P. 5205–5225.



## ВЗАИМОСВЯЗЬ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И СОДЕРЖАНИЯ АЭРОЗОЛЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ В ЛЕТНЕЕ ВРЕМЯ

М.С. Васильев<sup>1</sup>, С.В. Николашкин<sup>1,2</sup>, А.А. Решетников<sup>1</sup>, С.В. Титов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия, [ms\\_vasiliev@ikfia.sbras.ru](mailto:ms_vasiliev@ikfia.sbras.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Приводятся предварительные результаты исследования взаимосвязи вариаций температуры воздуха и содержания аэрозоля в Центральной Якутии. Используются натурные данные за июль месяц 2004–2012 гг.: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» и сети «AERONET».

За рассматриваемый период значения аэрозольной оптической толщи (АОТ Lev. 2,  $\tau_{500}$ ) и параметра Ангретма ( $\tau_{500-870}$ ) находятся в пределах 0,12–0,43 и 1,4–2,2 нм соответственно. В данный сезон в основном наблюдаются высокодисперсные аэрозольные частицы (природный фотохимический смог) имеющие размер до 0,01 мкм. Как показал корреляционный анализ, наблюдается неоднозначная картина взаимосвязи (или ее отсутствия) между АОТ с температурой воздуха в различные годы, что требует тщательного исследования с привлечением дополнительных параметров метеорологических, актинометрических измерений и данных оптических свойств атмосферного аэрозоля.

## ЛИДАРНЫЙ МОНИТОРИНГ ГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОНОВОГО НАПОЛНЕНИЯ АЭРОЗОЛЕМ СТРАТОСФЕРЫ НАД ТОМСКОМ

В.Н. Маричев, Д.А. Бочковский

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [moto@iao.ru](mailto:moto@iao.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Анализируются экспериментальные данные по изменчивости вертикально-временной структуры аэрозоля, полученные на лидарном комплексе станции высотного зондирования атмосферы ИОА СО РАН за период 2011–2013 гг. Характерной особенностью указанного периода было практическое отсутствие вулканической активности с выбросами в стратосферу, как и в 2010 г. Поэтому возникла возможность для изучения поведения вертикальной структуры фонового аэрозоля в стратосфере ежемесячно за отдельные ночи в течение трех лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН 106, гранта РФФИ № 13-05-01036а, проекта РНФ № 14-27-00022 и гранта президента РФ НШ-4714.2014.5.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ СТОКОМ РЕКИ ЛЕНА

М.В. Крайнева, В.В. Малахова, Е.Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия, [krajevna-m@yandex.ru](mailto:krajevna-m@yandex.ru)

На основе региональной океанической модели Арктики и Северной Атлантики, разработанной в ИВМ и МГ СО РАН [1], была смоделирована изменчивость состояния водных масс Арктического бассейна в период с 1948 по 2010 г. и исследована возможность существования аномалий температуры шельфовых районов моря Лаптевых, обусловленных тепловым стоком р. Лена. Для определения потока тепла на выходе в море используются формулы линейной регрессии, связывающие температуру речной воды с температурой воздуха [2]. Показано, что аномалии температуры, вызванные речным стоком могут достигать 2°, но существуют только в период летнего сезона. Полученная стратификация плотности позволяет большее вертикальное перемешивание водной толщи, ведущее к потеплению в придонном слое. Теплая температура воды у морского дна также может повлиять на стабильность шельфовой подводной вечной мерзлоты.

Работа выполнена при поддержке ИП № 109 ИВМиМГ СО РАН

1. Golubeva E.N., Platov G.A. On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. C04S05. DOI: 10.1029/2006JC003734.
2. Liu B., Yang D., Ye B., Berezovskaya S. Long-term open-water season stream temperature variations and changes over Lena River Basin in Siberia // Global and Planetary Change. 2005. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2004.12.007.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОФИЛЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДЯНОГО ПАРА КАК МАРКЕРЫ ПРИСУТСТВИЯ ЛЕДЯНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В МЕЗОСФЕРЕ

А.А. Солодовник, Д.В. Алёшин, П.Л. Журавлёв

*Северо-Казахстанский государственный университет,  
г. Петропавловск, Казахстан*

В результате наших исследований, проблема выявления ледяного аэрозоля и облачных форм в мезосфере решается путем анализа высотных профилей относительной концентрации водяных паров в атмосфере, получаемых методами космического зондирования. Вертикальные профили относительной концентрации водяного пара и температуры получают с помощью аппаратуры спутника AIM (прибор SOFIE) на основе анализа полос поглощения водяного пара [1].

Для уникального по частоте появления МСО низких широт сезона 2013 г. получен полный набор данных о вертикальных профилях относительной концентрации водяных паров и температуры. Первичный анализ профилей содержания водяных паров показал, что в верхней части мезосферы в большинстве случаев наблюдается плавное уменьшение концентрации водяного пара с высотой, что объяснимо в контексте поступления пара из нижних слоев атмосферы.

Отдельно изучен вопрос влияния облачности на температурные профили. Выявлено, что на профилях, проходящих сквозь облако, отмечаются особенности в виде локального повышения температуры, связанного либо с выделением скрытой теплоты конденсации, либо с изменением радиационного баланса в слое.

Таким образом, вид вертикальных профилей относительной концентрации водяного пара и температуры однозначно связан с наличием в мезосфере ледяного водного аэрозоля. Этот эффект позволит детектировать наличие МСО в условиях недостаточной (ночь) или избыточной освещенности (день). При этом возможно решение давно обсуждаемого вопроса о возможности обнаружения серебристых облаков в дневных условиях.

1. URL: <http://sofie.gats-inc.com/sofie/index.php> (ссылка активна на 13.10.2014).

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА АТМОСФЕРНЫХ ЦИРКУЛЯЦИЙ И КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НАД ТОМСКОМ В ШТИЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

А.А. Барт<sup>1</sup>, Л.И. Кижнер<sup>1</sup>, А.В. Старченко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

Метеорологические условия играют существенную роль в формировании уровня загрязнения воздуха, движение воздушных масс обуславливает перемещение компонент примеси в пространстве. Низкая скорость воздушного потока (ветра) способствует накоплению примеси вблизи источника, увеличению концентрации загрязняющих веществ в приземном слое воздуха.

Одним из преимуществ численного моделирования атмосферных процессов является возможность более детального исследования процесса. В работе приведены результаты численного моделирования штилевых метеорологических условий, наблюдавшихся в Томске в октябре 2012 г. Расчет метеорологических характеристик проводился с использованием мезомасштабной негидростатической модели TSU-NM3 [1]. Проведены сравнения рассчитанных и измеренных метеорологических характеристик (данные ТОР-станции ИОА СО РАН, метеостанции и температурного профилемера ИМКЭС СО РАН). С целью выявления условий, приводящих к образованию «городского острова тепла», выполнены параметрические расчеты с различной интенсивностью антропогенного теплового потока в городе.

Для исследования неблагоприятных аэротермохимических условий в атмосферном пограничном слое над урбанизированной территорией на основе рассчитанных метеорологических полей с помощью фотохимической мезомасштабной модели [2] были проведены исследования характера распространения эмиссии от источников, расположенных в черте города.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 12-01-00433а.

1. Старченко А.В. Численное исследование локальных атмосферных процессов // Вычислительные технологии. 2005. № 10. С. 81–89.
2. Барт А.А., Старченко А.В., Фазлиев А.З. Информационно-вычислительная система для краткосрочного прогноза качества воздуха над территорией г. Томска // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 7. С. 594–601.

## **ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АЭРОЗОЛЯ НА РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС АТМОСФЕРЫ**

**Б.В. Горячев, Е.В. Волкова**

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

Рассмотрен перенос оптического излучения в пространственно ограниченной дисперсной среде с неоднородным поглощением. Получены аналитические выражения для определения величины отражательной способности, коэффициентов пропускания и поглощения дисперсной среды. Показано, что наличие поглощения в приземном слое, даже при малой величине оптической плотности, оказывает существенное влияние на радиационный баланс атмосферы. Установлено, что влияние степени вытянутости индикатрисы рассеяния излучения на радиационный баланс зависит от распределения поглощения в слое всей дисперсной среды.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ГДМ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ГРОЗ НА 1–3 СУТ**

**М.Я. Здерева, В.М. Токарев**

*Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт,  
г. Новосибирск, Россия, vt@sibnigmi.ru*

Многочисленные исследования, направленные на поиски одного универсального «грозового» индекса, не приводят к ожидаемому результату в силу сложности и неоднозначности исследуемого процесса глубокой влажной конвекции.

Авторами критически рассмотрены подходы к получению как набора призначных характеристик (предикторы), так и максимально корректной выборки с грозами (предиктант). Обосновано корректное использование алгоритма логических решающих функций для построения прогностических правил, приведены примеры авторской методики прогноза гроз по данным аэрологического зондирования. Рассмотрены варианты использования выходной продукции различных ГДМ для пост-процессинга в интересах продления заблаговременности прогноза гроз на 1–3 сут и расширения территории прогноза на Урало-Сибирский регион.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ ПЯТИЛЕТНИХ РЯДОВ АЛЬБЕДО И ПОГЛОЩЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ РАДИОМЕТРА ИКОР-М**

**М.Ю. Червяков, А.И. Котума**

*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,  
г. Саратов, Россия, chervyakovmu@mail.ru*

Приводятся результаты обработки научной информации от радиометра ИКОР-М, работающего на орбите ИСЗ «Метеор-М» № 1. Аппаратура предназначена для измерений уходящей коротковолновой радиации, получения величин альbedo и поглощенной солнечной радиации (ASR) на ВГА, то есть оценки некоторых параметров энергетического обмена земной климатической системы.

Рассмотрена изменчивость альbedo для регионов Амазонской низменности и тропической Африки, а также для муссонных регионов. Приведены результаты расчетов широтного распределения альbedo для Мирового океана и суши. С количественными данными показана причина резкого различия в радиационном и тепловом режиме Индийского океана в сравнении с другими. Оценена взаимосвязь широтного хода альbedo с широтным ходом облачности. Уточнен вклад облачности в альbedo на ВГА

Приводятся результаты расчетов среднемесячных ASR для избранных территорий, равновеликих по общей площади и расположенных на разных широтах всех континентов. Получено наглядное представление о распределении поглощенной радиации по территориям произвольной формы.

Привлекут внимание исследования о возможности обнаружения Эль-Ниньо по данным радиометра ИКОР-М, а также обширные исследования радиационного режима Гренландии и прилегающих территорий.

В докладе будут приведены все подробности с необходимыми иллюстрациями.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части (код проекта 2179).

# АНТРОПОГЕННЫЙ АЭРОЗОЛЬ

## СООТНОШЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ТВЕРДОМ ОСАДКЕ И ФИЛЬТРАТЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ БРАТСКА

Н.И. Янченко<sup>1</sup>, Е.В. Тимкина<sup>1</sup>, С.Л. Слуцкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия, [fduecn@bk.ru](mailto:fduecn@bk.ru)

<sup>2</sup>Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Иркутск, Россия

В 2013 г. проведен отбор проб снежного покрова в Братске в северо-восточном направлении от «РУСАЛ Братский алюминиевый завод» на расстоянии от 3 до 29 км. Содержание элементов в фильтрате и твердом осадке снежного покрова (ТОС) определяли методом ИСП-МС. Определение ионов фтора выполнено фотометрическим методом. Рассчитаны процентные соотношения содержания элементов в фильтрате и твердом осадке снежного покрова, которые частично отражают соотношение элементов, входящих в состав газообразных (водорастворимых аэрозолей) и твердых нерастворимых соединений в атмосферной зоне влияния выбросов. Рассмотрены элементы, которые входят в состав сырья при производстве алюминия и ферросплавов или относятся к тяжелым металлам. Установлено, что на расстоянии 3 км в снежном покрове в ТОС преобладают Be<sub>75%</sub>, Al<sub>99%</sub>, Si<sub>99%</sub>, Cd<sub>95%</sub>, Pb<sub>100%</sub>, в жидкой фазе – Na<sub>95%</sub>, Mg<sub>35%</sub>, K<sub>80%</sub>, Ca<sub>95%</sub>, а Li и F находятся в соотношении 1:1. На расстоянии 29 км в ТОС преобладают Al<sub>90%</sub>, Si<sub>95%</sub>, Pb<sub>80%</sub>, в жидкой фазе – Na<sub>95%</sub>, Be<sub>30%</sub>, Mg<sub>20%</sub>, K<sub>95%</sub>, Ca<sub>95%</sub>, Li<sub>15%</sub>, F<sub>95%</sub>, Cd<sub>80%</sub>. Натрий, магний, калий и кальций находятся в фильтрате снеговой воды, предположительно в составе карбонатов, находящихся в аэрозолях или техногенной пыли атмосферы. В твердых пробах содержится 29% алюминия, то в пересчете на глинозем (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) это составит 60%. Глинозем – сырье для производства алюминия.

Работа выполнена при поддержке государственного задания 5.1678.2011 Министерства образования и науки и ОАО «РУСАЛ Братский алюминиевый завод».

## БИОМОНИТОРНАЯ РОЛЬ СФАГНОВЫХ МХОВ И ВЕРХОВОГО ТОРФА В ОПРЕДЕЛЕНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

А.М. Межибор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия, [amezhibor@gmail.com](mailto:amezhibor@gmail.com)

Сфагновый мох, произрастающий на верховых болотах, служит отличным биомонитором геохимического состава осаждающихся из атмосферы аэрозолей [1]. При этом, геохимический состав сфагновых мхов, как правило, отражает химический спектр аэрозолей антропогенного происхождения вблизи городов. В то же время верховой торф, слагаемый преимущественно сфагновыми мхами, сохраняет историю атмосферных выпадений и может служить хронологической записью индустриального развития территории. При изучении нескольких верховых болот в Томской области и Германии были охарактеризованы геохимические особенности исследуемых территорий, определяемые как природными, так и антропогенными факторами. Так, геохимический спектр сфагновых мхов и торфа болот Томской области отражает поступление в окружающую среду редкоземельных и радиоактивных элементов. Мхи и торф изученных болот центральной части Германии позволяют выявить специфику промышленности Европы и отличаются повышенными концентрациями некоторых тяжелых металлов. Согласно полученным результатам, изученные сфагновые мхи и торф в Томской области характеризуются более высокими концентрациями Cr, Fe, As, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Hg, Th и U. Мхи и торфы Германии более обогащены Mn, Cu, Zn и Se.

1. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений / Пер. с англ. И.Н. Михайловой. М.: ГЕОС, 2005. 457 с.

## ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ГОРОДСКОЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Н.В. Дудорова, Б.Д. Белан**

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

Представлены результаты расчета теплового баланса подстилающей поверхности в г. Томске в период 2004–2005 гг. Расчет выполнен на основе измерений метеорологических величин (база данных ИОА СО РАН), а также дополнительных данных, предоставленных Томским ЦГМС-филиалом ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС», «Томскстат», ОАО «ТГК № 11» Томский филиал, ОАО «Томскэнергосбыт», Управлением ГИБДД УМВД России по Томской области.

Выполнено исследование радиационного баланса г. Томска. Рассчитаны поток тепла в почву и антропогенный поток тепла. Дана оценка энергетического вклада фазовых переходов воды в общий тепловой баланс. Проведено сопоставление существующих градиентных методик расчета турбулентных потоков тепла и влаги.

Получено, что с марта по сентябрь основной приход тепла (50–98%) происходит за счет радиационных составляющих. С ноября по февраль приход тепла происходит в основном за счет турбулентного (50–70%) и антропогенного (25–50%) потоков тепла.

С января по март существенные затраты тепла приходятся на испарение (60–100%). В марте, апреле до 30% тепла расходуется на таяние снежного покрова. В теплый период года расход тепла распределяется между турбулентными потоками тепла (20–50%) и влаги (30–50%), а также потоком тепла в почву (15–20%). В период заморозков поздней осенью, в случае отсутствия снежного покрова, доля потока тепла в почву может составлять 70%. В ноябре–декабре в расходной части теплового баланса основную роль играют радиационные компоненты (65–75%).

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 5, 70 и 131; грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590, 14-05-93108; госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 и 14.613.21.0013.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА И ВЛАГИ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ С ПОМОЩЬЮ ГРАДИЕНТНЫХ МЕТОДИК

**Н.В. Дудорова, Б.Д. Белан**

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

Представлены результаты расчета турбулентных потоков тепла и влаги, полученные в рамках исследования теплового баланса подстилающей поверхности г. Томска в период 2004–2005 гг. Расчеты выполнены на основе градиентных методик, с использованием данных измерений температуры, влажности воздуха и скорости ветра на высотах от 10 до 40 м, полученных в обсерватории БЭК ИОА СО РАН.

Проведено сопоставление существующих градиентных методик расчета турбулентных потоков тепла и влаги. Показано, что значения турбулентных потоков тепла и влаги, рассчитанные по разным методикам, могут существенно различаться из-за различного определения коэффициента турбулентности.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35; 70 и 131, грантов РФФИ № 14-05-00526; 14-05-00590; 14-05-93108, госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 и 14.613.21.0013.

## РАДИАЦИОННЫЙ БАЛАНС ГОРОДСКОЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Н.В. Дудорова, Б.Д. Белан**

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

Представлены результаты расчета радиационного баланса, полученные в рамках исследования теплового баланса подстилающей поверхности г. Томска в период 2004–2005 гг. Значения суммарной солнечной радиации получены на TOR-станции ИОА СО РАН, осуществляющей ежечасный мониторинг параметров атмосферы. Альbedo подстилающей поверхности рассчитывалось на основе ежемесячных измерений с самолета-лаборатории АН-30 «Оптик-Э». Метеорологические параметры – температура воздуха и почвы, влажность воздуха и общий балл облачности предоставлены Томским ЦГМС – филиалом ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Получено, что большую часть года радиационный баланс г. Томска положительный, в ноябре, декабре и январе имеет отрицательные значения. Максимум наблюдается в июне и составляет 190 в 2004 г. и 169 Вт/м<sup>2</sup> в 2005 г. Минимум наблюдается в декабре и составляет –27 в 2004 г. и –45 Вт/м<sup>2</sup> в 2005 г.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131; грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590, №14-05-93108; госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 и 14.613.21.0013.

## ОЦЕНКА ПОТОКА ТЕПЛА В ПОЧВУ В ГОРОДЕ

Н.В. Дудорова, Б.Д. Белан

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

Представлены результаты расчета потока тепла в почву, полученные в рамках исследования теплового баланса подстилающей поверхности г. Томска в период 2004–2005 гг. Расчеты выполнены на основе данных стандартных наблюдений за температурой на подстилающей поверхности и температурой почвы на глубине 20 см. Наблюдения велись на Томской ЦГМС – филиал ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС» в синоптические сроки с помощью колеччатых термометров Савинова.

Результаты получены на основе общепризнанной модели теплообмена Фурье, требующей знания физических характеристик почвы. Для различных метеоусловий выполнена оценка значений плотности и влажности почвы, необходимых для определения коэффициента теплопроводности подстилающей поверхности, входящего в уравнение Фурье.

Показано, что в холодный период года поток тепла в почву отсутствует или его значения незначительны, из-за наличия снежного покрова, который обладает хорошими теплоизоляционными свойствами. В теплый период года поток тепла в почву составляет 15–25 Вт/м<sup>2</sup> или 15–20% от общего расхода тепла. Осенью большое влияние на выхолаживание оказывает отсутствие снежного покрова при наличии заморозков на почве. В таких условиях поток тепла в почву достигает 15 Вт/м<sup>2</sup>, что составляет до 70% от общего расхода тепла.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131; грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590, 14-05-93108; госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 и 14.613.21.0013.

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВКЛАДА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВОДЫ В ОБЩИЙ ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС ГОРОДСКОЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Н.В. Дудорова, Б.Д. Белан

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

Представлены результаты расчета потоков тепла от таяния снежного покрова и конденсации антропогенной влаги в городе, полученные в рамках исследования теплового баланса подстилающей поверхности г. Томска в период 2004–2005 гг. Расчеты дополнительного антропогенного притока влаги в городе выполнены на основе данных потребления топлива г. Томском, предоставленные «Томскоблстат». Расчет расхода тепла при таянии снежного покрова выполнен на основе данных высоты и плотности снежного покрова, наблюдаемых на Томской ЦГМС – филиал ФГБУ «Западно-Сибирское УГМС».

Показано, что весной расход тепла при активном таянии снежного покрова является существенным в тепловом балансе городской подстилающей поверхности. Для апреля 2004 г. его среднее значение равно 34,3 Вт/м<sup>2</sup>; для апреля 2005 г. 19,8 Вт/м<sup>2</sup>, что сопоставимо с затратами тепла на испарение и составляет 30 и 19% соответственно от общего расхода тепла. Поток тепла при замерзании водоемов и влаги на поверхности почвы осенью незначителен (менее 1 Вт/м<sup>2</sup>). Дополнительный приход тепла от конденсации антропогенной влаги в городе зимой составил 1–1,9 Вт/м<sup>2</sup>, летом 0,2–1 Вт/м<sup>2</sup>, что также является не существенным для теплового баланса городской подстилающей поверхности.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, 70 и 131; грантов РФФИ № 14-05-00526, 14-05-00590, 14-05-93108; госконтрактов Минобрнауки № 14.604.21.0100 и 14.613.21.0013.

## ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В БАЙКАЛО-ЛЕНСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н.А. Жученко, О.Г. Нецветаева, Н.А. Онищук, И.И. Маринайте, Н.П. Сезько, Н.В. Башенхаева

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

Целью исследований, проведенных на территории Байкало-Ленского заповедника (северо-западное побережье оз. Байкал) было выявление особенностей химического состава снежного покрова в сравнении с другими районами Байкальского региона (юго-восточное побережье, лед Южного и Среднего Байкала, дельта р. Селенги). В марте 2013 г. в заповеднике отобрано 25 проб снега на содержание основных ионов, биогенных элементов, нефтепродуктов, ПАУ, органического и взвешенного вещества, общего углерода и азота, микрокомпонентов.

Исследования выявили крайне низкие значения суммы ионов в снеговой воде (1,5–6,1 мг/дм<sup>3</sup>). В то же время по сравнению с другими районами в снеге повышены концентрации биогенных компонентов (особенно фосфатов, в среднем 0,095 мг/дм<sup>3</sup>) и органического вещества – 8,2 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание общего азота в снежном покрове БЛЗ является минимальным для всего Байкальского региона в 2013 г. В некоторых районах северо-западного побережья выявлены повышенные концентрации нефтепродуктов (до 0,19 мг/дм<sup>3</sup>). Отмечается некоторое увеличение содержания литофильных элементов, обусловленное, скорее всего, почвенно-эрозийными процессами.

Проведен сравнительный анализ материалов 2013 г. с результатами исследований снежного покрова в БЛЗ в 1998, 1999, 2003 и 2006 гг.

Работа выполнена в рамках проекта VIII.76.5.1. «Изменение абиотических и биотических характеристик озера Байкал под влиянием природных и антропогенных факторов» и интеграционного проекта № 8.

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ SO<sub>2</sub> НАД АКВАТОРИЕЙ ЮЖНОГО БАЙКАЛА ПО ДАННЫМ МАРШРУТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.А. Оболкин, В.Л. Потёмкин, В.Л. Макухин

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

Основными источниками переноса атмосферных загрязнений на Южный Байкал считаются промышленные центры, расположенные к СЗ от озера в долине р. Ангара. Менее вероятным считается перенос примесей со стороны Бурятии (Улан-Удэ, Гусиноозерск). Известно, что повторяемость СЗ переносов более высока и исследования переноса примесей с этого направления на Байкал, как экспериментальные, так и модельные, достаточно многочисленны. Вклад источников со стороны Бурятии до сих пор практически не исследовался.

В июле 2014 г. при измерениях с борта НИС «Папанин» впервые были зафиксированы высокие концентрации SO<sub>2</sub> (более 200 мкг/м<sup>3</sup>) вдоль восточного побережья Южного Байкала, тогда как вдоль западного берега и в центре концентрации не превышали 5–10 мкг/м<sup>3</sup>. Ветровые потоки в этот период преобладали со стороны Бурятии. Для исследования возможных механизмов и источников образования повышенных концентраций диоксида серы в этом районе был проведен анализ синоптических процессов за период наблюдений. Для полноты исследования данные измерений были дополнены результатами численных экспериментов с помощью математической модели.

Работа выполнена в рамках государственной программы № VIII.76.1.5 «Изменение абиотических и биотических характеристик экосистемы оз. Байкал под влиянием природных и антропогенных факторов».

## О ПОСЛЕДСТВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КИСЛОТООБРАЗУЮЩИХ ГАЗОВ НА ТЕРРИТОРИЮ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

О.Г. Нецветаева, Е.В. Чипанина, В.А. Оболкин, Н.П. Сезько, В.В. Носова

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия, r431@lin.irk.ru*

Для оценки пространственных масштабов и последствий переноса примесей на оз. Байкал в марте 2013 г. проведены детальные исследования химического состава снежного покрова на обширной территории Южного Прибайкалья, включая основные города-источники атмосферных выбросов и, особенно, ледовую акваторию Южного Байкала (с использованием судна на воздушной подушке).

В работе исследуются источники эмиссии антропогенных оксидов серы и азота в регионе, а также особенности их атмосферного переноса, приводящие к понижению рН снежных выпадений в отдельных районах. Анализ совместных результатов исследования химии снежного покрова и математического моделирования показывает, что в региональном масштабе основной перенос кислотообразующих газов происходит от крупных угольных ТЭЦ гг. Иркутск и Ангарск в направлении юго-западного (пос. Листвянка) и далее юго-восточного побережий (район рек Хара-Мурин, Снежная, Переемная) озера.

В городах-источниках величина рН снега варьирует в пределах 6–8 ед., с удалением от них она падает вместе с уменьшением содержания сульфатов и общей загрязненности снежного покрова, достигая минимума (4,67) в районе пос. Танхой (юго-восточное побережье Байкала). Одновременно с этим увеличивается содержание нитратов, особенно резко возрастают у восточного берега озера. Скорее всего, это связано с образованием нитратов из газообразных оксидов азота в процессе их переноса из Ангарска и Иркутска.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Интеграционного проекта № 8 СО РАН.

## ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭПИЗОДОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

И.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, И.Ю. Шалыгина<sup>1</sup>, П.В. Захарова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия, [tuza@metcom.ru](mailto:tuza@metcom.ru)

<sup>2</sup>ГПБУ «Мосэкомониторинг», г. Москва, Россия

Для анализа использованы данные измерений концентраций  $PM_{10}$  на сети ГПБУ «Мосэкомониторинг», помимо стандартной метеорологической информации использованы данные наблюдений температуры и ветра в АПС на ВММ в Обнинске, ТБ «Останкино», а также данные МТП-5 в разнесенных пунктах Московского региона. По наблюдениям в 2008–2014 гг. установлено, что значительное повышение концентрации  $PM_{10}$  в приземном воздухе большого города наблюдается в условиях, неблагоприятных для рассеивания большинства антропогенных примесей, так называемых НМУ; термическая устойчивость приземного слоя атмосферы в сочетании со слабым переносом являются обязательными составляющими таких событий. Увеличение аэрозольного загрязнения может сопровождаться другого типа атмосферными процессами, а именно, с выраженным интенсивным переносом в АПС. В отличие от первых, способствующих повышению  $PM_{10}$  за счет локальных источников загрязнения, атмосферные условия второго типа вызывают повышение аэрозольного загрязнения за счет переноса из удаленных источников, если транспорт примеси на большие расстояния обеспечивается термической устойчивостью в нижней атмосфере. Среди событий последнего типа выделяются весенние и осенние эпизоды переноса почвенных частиц из районов ветрового подъема при прохождении там атмосферного фронта, из районов весенней пахоты, а также случаи адвекции продуктов природных пожаров. Обсуждается метеорологические условия при наблюдавшемся в Москве в октябре 2014 г. загрязнении воздуха продуктами сжигания порубочных остатков и продуктами горения биомассы в соседних областях.

Работа выполнена частично при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-05-00481-а).

## ЭМИССИИ АНТРОПОГЕННОГО ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРУ: РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

А.А. Виноградова

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия, [anvinograd@yandex.ru](mailto:anvinograd@yandex.ru)*

Оценки пространственного распределения эмиссии черного углерода (black carbon – BC) с территории России проводятся по данным официальной статистики Министерства природных ресурсов и экологии РФ [1], используя информацию об эмиссиях в атмосферу окиси углерода (CO) и BC от городов и регионов России. Основное предположение – пропорциональность эмиссий CO и BC (отдельно от стационарных источников и от наземного транспорта) в пределах каждого региона. В анализ включены 54 региона и почти 100 городов России, расположенных в пределах (50–72° с.ш., 20–180° в.д.), что составляет 94% ее территории. Сумма выбросов антропогенного черного углерода оценивается в  $(210 \pm 30)$  тыс. т в год. Наибольшие эмиссии характерны для



многонаселенных экономически развитых районов центра европейской территории России, южных районов Урала и Западной Сибири, а также для малонаселенных Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, промышленность которых основана на добыче природных нефти и газа. Учтено пространственное расположение факелов сжигания попутного газа добывающих предприятий этих округов.

Полученные результаты адаптированы на сетке ( $1 \times 1^\circ$ ) для модельных расчетов дальнего атмосферного переноса ВС и прогнозирования связанных с ним климатических и экологических эффектов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 14-05-00059\_а и 14-05-93089 Норв\_а.

1. *Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 г.* / Под ред. А.Ю. Недре. СПб.: ОАО «НИИ Атмосфера», 2011. 560 с.

## АЭРОТЕХНОГЕННОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ РТУТИ В г. ОМСКЕ ПО ДАННЫМ СНЕГОГЕОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

А.Д. Лончакова<sup>1</sup>, М.И. Третьякова<sup>1</sup>, В.В. Литгау<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия, lonchakova.an@yandex.ru

<sup>2</sup>Научно-производственное объединение «Мостовик», г. Омск, Россия

Для оценки концентрации и выявления ореолов загрязнения ртутью в 2013 г. в г. Омске проводилась снеговая съемка. Все пробы были проанализированы в лаборатории микроэлементного анализа природных сред МИНОЦ «Урановая геология» на базе кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ на ртутном анализаторе «РА-915+» с пиролитической приставкой «ПИРО-915+».

Установлено, что содержание ртути в твердом осадке снега изменяется от 41 до 752 нг/г, что в среднем превышает фон в 2 раза (148 нг/г). Среднесуточный приток ртути на снежный покров с твердыми частицами атмосферных аэрозолей варьируется от 6 до 264 мг/(км<sup>2</sup>·сут)<sup>2</sup>, при среднем значении 29 мг/(км<sup>2</sup>·сут)<sup>2</sup> и фоне 0,46 мг/(км<sup>2</sup>·сут)<sup>2</sup>. Выявлено, что ореолы ртути наблюдаются в районах расположения предприятий машиностроения, приборостроения, а также рядом с заводами, которые специализируются на производстве технического углерода. Данные ореолы приходятся на юго-восточную и центральную части города. На данной территории расположены такие крупные предприятия г. Омска, как ООО «Промавтохим»; ЗАО «Завод сборного железобетона», Опытно-механический завод ООО «Центра Транспорт»; «Омсктехуглерод».

## ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖИ В МЕГАПОЛИСАХ (В ПЕКИНЕ И МОСКВЕ) В 2004–2010 гг.

В.М. Копейкин<sup>1</sup>, Ван Генчень<sup>2</sup>, Т.Я. Пономарёва<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. Обухова РАН, г. Москва, Россия, kopeikin@ifaran.ru

<sup>2</sup>Институт физики атмосферы АН Китая, г. Пекин, Китай

<sup>3</sup>Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

Представлены результаты наблюдений содержания сажевого аэрозоля в воздушных бассейнах гг. Пекина и Москвы в 2004–2010 гг. Проведены регулярные измерения концентрации сажи в обоих пунктах в рабочие дни недели 1 раз в сутки (9–14 ч) и несколько серий наблюдений по 1 мес. Вариации единичных измерений концентрации сажи в Пекине за 7 лет находятся в пределах 0,1–77 мкг/м<sup>3</sup>, а в Москве – в пределах 0,1–22 мкг/м<sup>3</sup>. Средняя концентрация сажи в г. Пекине составляет в 2004 г. – 10,7 мкг/м<sup>3</sup>, за период 2005–2007 гг. – 8,8 мкг/м<sup>3</sup>, а в г. Москве за весь срок измерения – 3,7 мкг/м<sup>3</sup>. Проанализирована годовая, сезонная и суточная изменчивость концентрации сажи.

В Гидрометцентре России построены ежедневные обратные траектории переноса воздушных масс на уровне 850 мб за период 2004–2010 гг. Анализ траекторий за 7 лет для г. Пекина показал, что загрязнение сажевым аэрозолем воздушного бассейна г. Пекина увеличивается при переносе воздушных масс из промышленных центров в секторе от Ю-З до Ю-В. В атмосфере г. Москвы значительный рост содержания сажи за счет источников сажевого аэрозоля вне города регистрируется только в экстремальных случаях (при пожарах в лесах и горении торфяников).

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПЫЛЕВЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ОКРЕСТНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА (г. ПАВЛОДАР, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

Т.С. Шахова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия, belo4ka911@mail.ru*

Приведены результаты исследования вещественного и элементного состава пылевых атмосферных выпадений, аккумулирующиеся в снежном покрове, в зоне влияния павлодарского нефтехимического завода в 2014 г. Объект исследования – твердый осадок снега.

Изучение минерального состава проводили на бинокулярном микроскопе и на сканирующем электронном микроскопе в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» кафедры ГЭГХ ТПУ. Химический состав определялся инструментальным нейтронно-активационным анализом.

Результаты показали, что техногенные (66,5–83,3%) преобладают над минеральными частицами (16,7–33,5%). Преобладающим в составе техногенной составляющей являются частицы угля, сажистые частицы и шлак, а также алюмосиликатные микросферулы типичные для выбросов от сжигания угля. Выявлено повышенное содержание Cr, Sm, As, Ag, La, Sb, Ba. Минеральными формами Cr является хромит, Ba – барит и Sb – антимонит. Возможными источниками данных элементов могут быть выбросы от данного нефтехимического предприятия, где используются катализаторы сложного состава. Также предприятие расположено на территории северного промышленного узла, в связи с этим выбросы могут перекрываться выбросами ТЭЦ-3 и предприятия по производству полипропилена и метил-трет-бутилового эфира.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЫПАДЕНИЙ ПЫЛИ ОТ ИСКИТИМСКОГО ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА

Е.А. Филимоненко<sup>1</sup>, В.Ф. Рапуга<sup>2</sup>, А.В. Таловская<sup>1</sup>, Т.В. Ярославцева<sup>3</sup>, Е.Г. Язиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, rapuga@sscc.ru*

<sup>3</sup>*Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия*

Обсуждаются результаты исследований элементного и ионного состава проб снега в окрестностях Искитимского цементного завода. Маршрутный отбор проб снега проводился в конце зимнего сезона 2012/13 гг. Точки наблюдений располагались в диапазоне расстояний от 0,4 до 3 км.

С использованием модели реконструкции поля полидисперсной аэрозольной примеси от приподнятого источника и данных экспериментальных исследований пылевого загрязнения снежного покрова атмосферными выбросами Искитимского цементного завода выявлены устойчивые количественные закономерности выпадения пыли по радиальным относительно основного источника направлениям. Проведена оценка атмосферных выпадений цементной пыли в зимнем сезоне 2012/13 гг. и установлено значительное несоответствие с данными инвентаризации выбросов пыли от предприятия.

Выявлены также существенные расхождения между направлениями основных выносов пыли и зимней розой ветров текущего зимнего сезона. Исследования геохимического состава проб твердого осадка снега подтвердили заметные отличия в них относительного содержания химических элементов между северо-западным и северо-восточным направлениями. Аналогичная ситуация наблюдается и для измеренных значений pH на этих маршрутах, что указывает на различие режимов выброса пыли в направлениях к городу и за его пределы.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН 4.9.

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ВЕРОЯТНОСТНЫМИ МЕТОДАМИ

О.В. Адмаев<sup>1</sup>, Т.В. Гавриленко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ИрГУПС,  
г. Красноярск, Россия, oadmaev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия*

На производстве, в быту или в природных условиях на человека, как правило, одновременно действует большое количество химических веществ. Практически никогда эффект такого сочетанного действия не явля-

ется простой суммой эффектов, наблюдаемых при изолированном воздействии каждого из токсикантов в отдельности. Это существенно затрудняет нормирование химических воздействий (определение ПДК и т.д.) и снижает научную ценность токсикометрических данных, полученных применительно к одному токсиканту для принятия экспертных решений. Явление коергизма – одна из основных причин значительной неопределенности суждений при оценке риска, связанного с действием вредных факторов на организм, популяцию, экосистему.

Для поиска решения данной проблемы предлагается использовать вероятностный подход к комплексной оценке экологической безопасности. Пусть показатель безопасности определяется как вероятность безопасной эксплуатации железной дороги  $P = 1 - \rho$ , где  $\rho$  – вероятность превышения ПДК при экологических воздействиях транспортного потока различного вида. Можно считать, что процесс накопления вредных воздействий на придорожных территориях наиболее адекватно описывается пуассоновским законом распределения.

Вычисление вероятностей  $\rho_i$  предполагает наличие технических, экологических, экономических и социальных критериев опасности. В этих условиях можно принять  $\rho_i = n_i/n$  (где  $n_i$  – число превышений ПДК  $i$ -го вида;  $n$  – общее число событий). Параметры  $\lambda_i$  и  $\rho_i$  могут быть оценены по данным статистики происшествий для каждого  $i$ -го вида источника опасности. При различных значениях функций безопасности возможно допущение превышения уровней ПДК при малых значениях одного из загрязнений.

## **ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ОКРЕСТНОСТЯХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОГО ОБЛАСТИ)**

**А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Е.Г. Язиков**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия, filimonenkoea@mail.ru*

Представлен анализ состава снежного покрова как индикатора загрязнения атмосферного воздуха в окрестностях объектов нефтяного месторождения и нефтеперекачивающей станции на севере Томской области, а также нефтеперерабатывающего и нефтехимического завода г. Томска. Проводили отбор проб снега в период с 2009 по 2014 г.

Анализ показал, что наибольший приток пыли из атмосферы на снеговой покров наблюдается в окрестностях технологических объектов нефтяного месторождения. В окрестностях нефтеперекачивающей станции и нефтеперерабатывающего завода определены наименьшие значения пылевой нагрузки. В окрестностях нефтехимического завода данная величина существенно не изменяется за весь период наблюдения.

Содержание нефтепродуктов в талой снеговой воде из окрестностей нефтеперерабатывающего и нефтехимического заводов сопоставимо и более чем в 2 раза превосходит аналогичный показатель в пробах, отобранных в радиусе 15 м от факела на изучаемом нефтяном месторождении. Расчеты эколого-геохимических показателей на основе данных об элементном составе проб нерастворимого осадка снега позволили установить ряд элементов-трассеров в снежном покрове в окрестностях каждого из изучаемых объектов. Результаты показали, что абсолютное большинство рассматриваемых химических элементов концентрируются в нерастворимой фазе снега, представляющая собой твердые частицы аэрозолей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для поддержки молодых российских ученых (МК 951.2013.5) и гранта BP Exploration Operating Company Limited.

## **ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ НЕРАСТВОРИМОЙ ФАЗЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ОКРЕСТНОСТЯХ КАРАГАНДИНСКОЙ ТЭЦ-3 (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)**

**Т.Е. Адильбаева, А.В. Таловская**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия, mega.adilbaeva@mail.ru*

Представлены результаты исследования вещественного состава пылевых атмосферных выпадений в зоне воздействия Карагандинской ТЭЦ-3. Проводили отбор проб снега в окрестностях ТЭЦ, предмет исследования – твердый осадок снега. Вещественный состав проб определялся методами оптической и электронной микроскопии в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» при ТПУ. В отобранных пробах определяли процентное соотношение минеральных частиц и техногенных образований.

Расчет пылевой нагрузки показал, что среднее значение данной величины в окрестностях ТЭЦ составило  $972 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , что соответствует очень высокой степени загрязнения и чрезвычайно опасному уровню заболеваемости населения согласно нормативной градации. Выявлены минеральные частицы (кварц, полевые шпаты, барит, магнетит, кальцит, пирит, рутил) и техногенные образования (частицы сажи и угля, шлака, алюмосиликатные микросферулы). Органическое вещество (5%) в пробах твердого осадка снега представлено древесно-растительными остатками. Минеральные частицы составляют 20%, основная доля (70–80%) приходится на техногенные частицы, характерные для выбросов от сжигания угля и ветрового переноса от складов угля на территории ТЭЦ. В качестве топлива на Карагандинской ТЭЦ-3 используется мазут (~30%) и уголь (~70%) Экибастузского месторождения марки СС характеризуется высокой зольностью. Содержание техногенных частиц и максимальная пылевая нагрузка на снеговой покров наблюдается на удалении 600 м.

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ КРАСНОЯРСКА

О.В. Адмаев, А.В. Казаков

*Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ИрГУПС,  
г. Красноярск, Россия, oadmaev@mail.ru*

Для создания экспертной системы при наполнении базы знаний используются известные характеристики химических элементов. Рассмотрим формальдегид – одно из токсических веществ, влияющих на организм человека в зависимости от уровня его концентрации (<http://vreden-polezen.ru/himia/item/31-formaldegid-vred.html>). Он является быстродействующим клеточным ядом, канцерогеном и относится ко второму классу опасности. Формальдегид и его полимеры оказывают раздражающее действие на кожу (растворы концентрации выше 1–2%); на глаза и дыхательные пути (от  $1 \text{ мг}/\text{м}^3$ ); при длительном воздействии (от  $0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$ ). Его присутствие заметно при очень низких концентрациях из-за сильного запаха. Порог чувствительности запаха  $0,1\text{--}0,3 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

При воздействии формальдегида у человека возникает воспаление слизистых оболочек глаз и дыхательных органов, возможна кожная аллергия. Эмиссия (выделение) большей части непрореагировавшего формальдегида обычно происходит, в зависимости от изделия, примерно в течение 6 мес. Концентрации формальдегида могут быстро уменьшаться со временем. Время уменьшения или скорость распада будет зависеть от характеристик исходных материалов, от их количества относительно воздушного объема здания и от экологических факторов: вентиляции, температуры и относительной влажности.

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РТУТНОЙ НАГРУЗКИ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

И. Монасыров<sup>1</sup>, Е.Е. Ляпина<sup>1,2</sup>, А.В. Таловская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия, eeldv@mail.ru*

Объекты теплоэнергетики оказывают многокомпонентное негативное воздействие на окружающую среду. Несмотря на применение современных технологий и смену сырьевой базы, основным источником сырья на тепловых электростанциях остается уголь. Наиболее информативным природным планшетом, позволяющим оценить степень антропогенной нагрузки в зоне воздействия объектов теплоэнергетики, является снег. Анализируя ртуть в твердой и жидкой фазе снегового покрова, можно оценить уровень поступления поллютанта в окружающую среду, характер его распределения в зависимости от форм нахождения и фракционного состава твердого осадка снега, определить долевое соотношение водорастворимых и прочносвязанных соединений в зоне воздействия объектов теплоэнергетики.

# МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ВОДНОГО АЭРОЗОЛЯ С ПРИМЕСЬЮ ТРИПТОФАНА

В.И. Жарков, А.В. Климкин, А.Н. Куряк, Ю.Н. Пономарёв, В.Г. Соковиков

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

Процесс флуоресценции давно используется для качественного и количественного анализа твердых, жидких и газообразных сред [1]. Флуоресценция газов и паров металлов обусловлена электронными переходами, поэтому хорошо возбуждается УФ-излучением. В последнее время внимание исследователей привлечено и к изучению флуоресценции биоаэрозоля, различного состава [2]. В частности водного раствора триптофана.

В настоящей работе представлены результаты дистанционного зондирования искусственно созданного в кювете биоаэрозоля приготовленного из водного раствора триптофана. Исследования проводились на экспериментальной установке, состоящей из лазера (266 и 355 нм), кюветы с генератором аэрозоля зеркального телескопа Кассегрена, монохроматора Shamrock SR-303i-B, системы регистрации на основе CCD-камеры iStar 320T-25H-83. Расстояние от телескопа до кюветы составляло величину около 12 м.

Целью эксперимента являлись проверка работоспособности выбранных элементов, методов регистрации сигналов флуоресценции и СКР от ряда веществ-маркеров.

Получены спектры флуоресценции аэрозоля, приготовленного из «свежего» (трех различных концентраций) и «состаренного» раствора триптофана. Использовалось излучение на длине волны 266 нм. Энергия генерации лазера не превышала 5 мДж.

При возбуждении лазерным излучением с длиной волны 355 нм наблюдались спектры комбинационного рассеяния воды, азота и кислорода. Флуоресценции триптофана не наблюдалось.

Таким образом, представленные результаты исследования флуоресценции аэрозоля на основе водного раствора триптофана подтверждают работоспособность выбранной схемы дистанционной регистрации сигналов флуоресценции биоаэрозоля.

1. *Прингсгейм П.* Флуоресценция и фосфоресценция. М., 1951. 622 с.
2. *Макогон М.М.* Сравнительный анализ спектроскопических методов дистанционной диагностики биоаэрозоля // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23, № 5. С. 350–358.

## ОСЛАБЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ВОДНЫМ АЭРОЗОЛЕМ

Б.Г. Агеев<sup>1</sup>, Ю.Н. Пономарёв<sup>1</sup>, Е.Н. Чесноков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, ageev@asd.iao.ru*

<sup>2</sup>*Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Дальний инфракрасный диапазон ( $\lambda > 10$  мкм) представляет интерес для многих приложений, в том числе атмосферных исследований. Источниками излучения в этой области спектра являются как классические тепловые излучатели (глобары и т.п.) так и излучатели, использующие самые современные технологии: лазерные (квантово-каскадные лазеры, параметрические генераторы) и электронные пучки (свободные электроны).

В докладе представлены результаты измерений энергетического ослабления терагерцового излучения лазера на свободных электронах модельной воздушно-аэрозольной средой. Исследованы зависимость ослабления излучения от длины волны лазерного излучения и концентрации водного аэрозоля. Показано, что для реализованных условий эксперимента ослабление обусловлено, в основном, аэрозольными частицами. Полученные данные могут быть использованы при оценках чувствительности дистанционного зондирования молекулярного состава атмосферы с помощью источников терагерцового излучения.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта № 9 междисциплинарных фундаментальных исследований СО РАН.

## ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА НА РАЗНЫХ ГЛУБИНАХ оз. КРАСИЛОВСКОЕ В ТЕЧЕНИЕ СУТОК ЛЕТОМ 2013 г. И ВЕСНОЙ 2014 г.

И.А. Суторихин, В.И. Букатый, О.Б. Акулова, У.И. Янковская

*Институт водных и экологических проблем СО РАН,  
г. Барнаул, Россия, zalaeva@iwep.ru*

В июне 2013 г. и мае 2014 г. на оз. Красиловское (Алтайский край) были проведены суточные наблюдения по изучению динамики спектрального показателя ослабления света ( $\epsilon$ ,  $\text{м}^{-1}$ ), концентрации хлорофилла  $a$  ( $C$ ,  $\text{мг/м}^3$ ) и температуры воды ( $t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) на разных глубинах водоема. Отбор проб в пелагиальной части озера осуществлялся каждые 2 ч для определения значений  $\epsilon$  и  $t$ , и каждые 6 ч для значений  $C$ . После проводились измерения спектральной прозрачности воды в диапазоне длин волн 400–800 нм на спектрофотометре ПЭ-5400УФ и фильтрация проб водорослей фитопланктона *in situ*.

Проведенные летние суточные измерения  $\epsilon$  по вертикали озера показали, что кривая, характеризующая динамику этой величины в придонном слое, находилась в противофазе с соответствующей кривой для поверхностного слоя, чего не наблюдалось в майских исследованиях. Весной в пробах, отобранных на поверхности и у дна, имеются сдвиги максимумов измеренной величины  $\epsilon$  по времени, а именно, максимум для придонного слоя наблюдался в два часа ночи (02:00) и для поверхностного – в полночь (00:00).

Данные по концентрации хлорофилла и температуре воды показали, что летом в поверхностном слое водоема эти две величины находились в противофазе, т.е. прослеживалась обратная зависимость  $C$  от  $t$ , а весной наблюдалась, наоборот, прямая зависимость концентрации хлорофилла ( $c$  с максимумом на 06:00) от температуры воды.

Суточные наблюдения летом 2013 г. и весной 2014 г. показали совершенно разные зависимости и корреляции исследуемых характеристик водоема, что, прежде всего, связано с сезонными изменениями самих изучаемых параметров озера и протекающих внутриводоемных процессов, непосредственно влияющих на них.

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В.В. Зув<sup>1</sup>, И.А. Суторихин<sup>2</sup>, С.А. Кураков<sup>1</sup>, У.И. Янковская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия, zalaeva@iwep.ru*

Для осуществления комплексного мониторинга оз. Красиловского в ИМКЭС СО РАН был создан многоканальный измерительный комплекс АПИК, позволяющий в автономном режиме получать информацию о метеопараметрах атмосферы, солнечной радиации, уровнях озерных и грунтовых вод, температуре и кислотности вод. АПИК состоит из трех автономных блоков, специально подготовленных для установки на акватории озера на плоту, на дне недалеко от уреза воды и стационарно на берегу.

Результаты комплексных гидрометеорологических экспедиционных измерений, проводимых на озере Красиловском, начиная с июля 2013 г. по нынешний момент, показали, что гидрологический режим озера существенно регулируется атмосферой, в первую очередь осадками, а не внутренними источниками. При отсутствии атмосферных осадков комплекс «АПИК» регистрировал быстрое понижение уровня воды в озере до 76 мм в течение пяти суток. При этом измеренная амплитуда суточного хода уровня воды в озере (уменьшение днем из-за испарения и подпитка «ключами» ночью) составляла всего 22 мм, что не позволяло компенсировать испарение.

Результаты весенних измерений 2014 г. показали, что существенно повышение уровня воды в озере было обусловлено по большей части стоком талого снега с «водосбора». В период таяния снега «АПИК» регистрировал температуру грунта, которая была ниже нуля, что позволяет сделать вывод, что образовавшаяся вода не впитывалась в грунт, а вся попадала в озеро.

## КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ОСАЖДЕНИИ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТВЕРДЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

В.А. Архипов<sup>1</sup>, А.С. Усанина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, [usaninaanna@mail.ru](mailto:usaninaanna@mail.ru)

Для повышения эффективности различных технологических процессов и установок с многофазным рабочим телом, а также проведения оценки экологических последствий при эксплуатации объектов авиационной и ракетно-космической техники необходимы данные о характере поведения высококонцентрированной системы частиц дисперсной фазы. Представлены результаты экспериментального исследования влияния характеристик совокупности твердых сферических частиц (начальная масса и концентрация частиц) на закономерности гравитационного осаждения облака частиц в области малых чисел Рейнольдса ( $Re < 1$ ). Процесс осаждения высококонцентрированной системы частиц можно разделить на три стадии: формирование, движение и распад сфероида. Получена эмпирическая зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса и начальной концентрации частиц  $C_V$  в облаке. Анализ экспериментальных данных показал, что скорость осаждения системы частиц зависит от начального диаметра  $D$  облака и концентрации  $C_V$ . При больших значениях  $D$  и  $C_V$  наблюдается увеличение коэффициента сопротивления и уменьшение скорости облака частиц в процессе осаждения.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (№ МК-1259.2013.1).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРОПОСФЕРЫ И ИССЛЕДОВАНИЙ МЕЗОСТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАКОВ

Е.Н. Кадыгров, Е.В. Ганьшин, А.Г. Горелик, А.К. Князев, Е.А. Миллер,  
В.В. Некрасов, Т.А. Точилкина, А.Н. Шапошников

Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный, Россия, [enkadygrov@gmail.com](mailto:enkadygrov@gmail.com)

С 1 декабря 2013 г. по настоящее время в Центральной аэрологической обсерватории проводится опытная эксплуатация наземного многоканального микроволнового комплекса для мониторинга термодинамических параметров атмосферы (патентованное название «Микрорадком»), не имеющего отечественных аналогов. Комплекс обеспечивает практически непрерывное измерение профилей температуры тропосферы (от точки установки до высоты 10 км при безоблачных условиях и 3–4 км при наличии облачности) и общего содержания водяного пара в столбе атмосферы. Дополнительно комплекс измеряет водозапас облаков, профили температуры атмосферного пограничного слоя (АПС) с более высоким вертикальным разрешением, приземные метеопараметры, ведется видеозапись состояния облачности. Комплекс находится в непосредственной близости (50 м) от места выпуска радиозондов аэрологической станции Долгопрудный.

Анализ полученных в ходе опытной эксплуатации комплекса результатов измерений позволяет сделать следующие выводы. Профили температуры АПС получены за все время измерений без единого пропуска, калибровки проводились в автоматическом режиме, расхождения с данными радиозондирования в диапазоне высот 0–1 км не превышали 0,5 °С. Профили температуры тропосферы достаточно надежно восстанавливались при безоблачных условиях вплоть до высоты 10 км, расхождения с радиозондом не превысили 1,2 °С. При наличии облачности высота восстановления профилей температуры опускалась до 2–4 км, и расхождения с данными радиозондирования составляли 2,5 °С на высотах более 1 км. Сравнение измеренных значений общего содержания водяного пара с данными радиозондирования показали, что расхождения не превышали 0,4 г/см<sup>2</sup> (кроме выпусков радиозондов в условиях наличия жидких осадков). Получен большой архив данных по различным типам облаков, однако сравнения проводить было не с чем. Результаты не выходили за рамки справочных данных, а высокая чувствительность радиометрической аппаратуры (0,02 К при постоянной времени измерений 1 с) позволила измерить даже водозапас полупрозрачной облачности и дымки. В докладе приведены результаты анализа полученных данных и сформулированы перспективы использования нового измерительного комплекса в задачах мониторинга и исследования параметров атмосферы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-0038) и ФЦП «Геофизика».

## СРЕДНЯЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО БЕССЕЛЕВА ПУЧКА В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

И.П. Лукин

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

Представлены результаты теоретического исследования средней интенсивности поля когерентного фундаментального бесселева оптического пучка, распространяющегося в случайно-неоднородной среде с дискретными и непрерывными неоднородностями. Главное внимание уделяется рассмотрению вопроса о стабильности фундаментального бесселева оптического пучка, формируемого в случайно-неоднородной среде. В этом исследовании подробно проанализированы особенности пространственной структуры распределения средней интенсивности фундаментального бесселева оптического пучка при распространении в случайно-неоднородной среде. Особенности распространения фундаментального бесселева оптического пучка в случайно-неоднородной среде изучены с использованием функции взаимной когерентности второго порядка поля оптического излучения. Для средней интенсивности фундаментального бесселева оптического пучка получено условие, являющееся количественным критерием возможности формирования фундаментального бесселева оптического пучка на протяженных трассах в случайно-неоднородной среде с дискретными и непрерывными неоднородностями.

## СРЕДНЯЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ВИХРЕВЫХ ПУЧКОВ В ДИСКРЕТНОЙ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЕ

И.П. Лукин

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

Вихревые оптические пучки представляют большой теоретический и практический интерес. Однако до сих пор распространение вихревых оптических пучков обычно рассматривали либо в однородной среде, либо в турбулентной случайно-неоднородной атмосфере. Другие типы случайно-неоднородных сред, в частности дискретные рассеивающие среды, пока остаются вне поля зрения исследователей. Между тем, в атмосфере всегда присутствуют частицы вещества, которые активно участвуют в рассеянии света. В данной работе изучается средняя интенсивность вихревых гауссовых оптических пучков, распространяющихся в атмосфере с дискретными рассеивателями. Распространение оптических волн в дискретной рассеивающей среде, состоящей из большого числа крупномасштабных, по сравнению с длиной волны оптического излучения, рассеивателей, исследуется на основе решения дифференциального уравнения для функции взаимной когерентности второго порядка оптического излучения. Записано общее решение этого дифференциального уравнения для случая вихревых гауссовых пучков. Обсуждаются возможность переноса оптического вихря такими пучками на протяженных атмосферных трассах при наличии дискретных рассеивателей.

## СЛУЧАЙНЫЕ СМЕЩЕНИЯ БЕССЕЛЬ-ГАУССОВА ПУЧКА В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

И.П. Лукин

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

Проведены теоретические исследования моментов случайной интенсивности когерентных бессель-гауссовых пучков, распространяющихся в случайно-неоднородной (турбулентной) среде. Дисперсия смещений центра тяжести оптического пучка в приближении заданного поля вихревых бессель-гауссовых пучков в турбулентной атмосфере при больших значениях числа Френеля передающей апертуры монотонно увеличивается по мере роста параметра бесселева пучка (компоненты волнового вектора, ортогональной к направлению распространения оптического излучения). Увеличение топологического заряда вихревого бессель-гауссова пучка приводит к уменьшению дисперсии смещений центра тяжести этого пучка. Показано, что вихревые бессель-гауссовы пучки при малых значениях параметра бесселева пучка, имея низкие значения дисперсии смещений центра тяжести оптического пучка, лучше сохраняют при распространении в турбулентной атмосфере первоначальное направление, чем фундаментальный гауссов пучок. Эта особая устойчивость бездифракционных бессе-



левых пучков в турбулентной атмосфере с точки зрения сохранения первоначального направления распространения оптического излучения открывает новые возможности использования бездифракционных пучков для задания реперных линий для систем геодезии и машинного ориентирования в реальной (случайно-неоднородной) турбулентной атмосфере. Полученные результаты, являются еще одним проявлением принципиальных особенностей распространения бездифракционных лазерных пучков в случайно-неоднородных средах.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ НА СПУТНИКОВЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

С.Ф. Баландин

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

Основными источниками выброса углекислого газа в атмосферу являются производство, транспортировка, переработка и потребление ископаемого топлива (86%), сведение тропических лесов и другое сжигание биомассы (12%), и остальные источники (2%). После выделения молекула двуокиси углерода совершает цикл через атмосферу и биоту и окончательно поглощается океаническими процессами или путем длительного накопления в наземных биологических хранилищах (т.е. поглощается растениями). Оцениваемый эффективный период пребывания для углекислого газа колеблется в пределах от 50 до 200 лет. По оценкам экспертов на долю климатических изменений за счет  $\text{CO}_2$  приходится около 64% глобального потепления. Наиболее полную информацию о характере изменения  $\text{CO}_2$  могут дать только спутниковые измерения. При этом метод вертикального пассивного зондирования, основанный на оптической корреляции спектра  $\text{CO}_2$  в атмосфере и спектра селективного корреляционного фильтра наиболее перспективен ввиду его большой оперативности, помехозащищенности и высокого пространственного разрешения.

В работе рассмотрен участок спектра  $1038\text{--}1088\text{ см}^{-1}$  с большим уровнем помех от паров воды и озона. Вертикальная атмосфера разделена на слои 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30–40 км с усредненными параметрами в них. Произведен расчет уровня наблюдаемого сигнала при использовании эталонной корреляционной кюветы с  $\text{CO}_2$  и искусственно созданного корреляционного фильтра. Показано соотношение сигналов и помех. Сделан вывод о перспективности использования искусственно созданного корреляционного фильтра для таких участков спектра.

## МОДИФИКАЦИЯ ТУРБИДИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНОСТИ АЭРОЗОЛЕЙ

Э.А. Мецлер, А.А. Павленко, С.С. Титов

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН,  
г. Бийск, Россия, mezlere@mail.ru*

Работа посвящена модификации турбидиметрического высокоселективного метода определения дисперсных характеристик многофазных сред с диапазоном размеров измеряемых частиц от 20 нм до 6 мкм. Модификация заключается в переходе от зондирующего излучения со сплошным спектром к дискретному набору длин волн (набор лазерных источников).

При переходе на ограниченное число длин волн возникает неопределенность в нахождении функции распределения частиц по размерам, которая связана с привлечением меньшего количества измерительных данных о исследуемой среде. А аппаратное увеличение числа длин волн (добавление лазерных источников излучения) заметно усложняет конструкцию измерительного комплекса. Для уменьшения неопределенности в нахождении функции распределения частиц по размерам предложено ввести промежуточный этап, который заключается в предварительном определении осредненного размера ( $D_{32}$ ) частиц исследуемой среды с использованием имеющихся длин волн измерительно комплекса. Уменьшение неопределенности происходит вследствие того, что  $D_{32}$  и параметры распределения частиц по размерам функционально связаны. Следовательно, с заранее известным  $D_{32}$  можно однозначно связать параметры распределения (например, для гамма распределения – линейно), что существенно сокращает количество перебираемых функций распределения частиц по размерам.

Предложенный подход дает возможность оптимизировать алгоритм вычисления при определении функции распределения частиц по размерам с учетом произвольно заданной погрешности нахождения  $D_{32}$ .

## СТЕНД КАЛИБРОВКИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В ДИАПАЗОНЕ РАЗМЕРОВ 0,003–10 мкм

А.М. Бакланов, О.В. Боровкова

*Институт химической кинетики и горения СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, anatoli@kinetics.nsc.ru*

Установка состоит из генератора наночастиц NaCl, WO<sub>x</sub> и карбона, генератора монодисперсных аэрозолей в диапазоне размеров от 0,5 до 10 мкм и термопреципитатора. Размер частиц определяется диффузионной батареей, которая является абсолютным прибором, не требующим предварительного препарирования аэрозольных частиц. Точность измерений определяется точностью выставления расходов через батарею. Морфология получаемых частиц и дисперсный состав контролируются с помощью просвечивающего электронного микроскопа. Стабильность генератора наночастиц 2–5% в течение 1 ч. Для генератора монодисперсных аэрозолей  $\sigma_g = 1,1$  в течение 3 ч. Концентрация и стабильность контролируются с помощью ячейки Милликена. С помощью лазера создается параллельный пучок света (оптический нож) толщиной 0,1 мм и шириной 1 мм. Счетный объем создается микроскопом с «насадкой Левенгука». По скорости оседания частиц определяется их диаметр, а по количеству – счетная концентрация. В диапазоне от 0,1 до 1 мкм используются монодисперсные латексные частицы, распыляемые форсункой Коллисона. Генератор создает частицы дибуттилфталата шарообразной формы и плотностью 1,01 г/см<sup>3</sup>. Размер определяется по формуле Стокса с учетом поправки Каннингема. В реальных условиях точность определения размера составляет 3–5%. Концентрация частиц от 10 до 10<sup>6</sup> шт./см<sup>3</sup>. Наличие нескольких стабильных генераторов позволяет не только калибровать размеры, но и разрешающую способность аэрозольных приборов.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОРЕОЛЬНОГО СОЛНЕЧНОГО ФОТОМЕТРА

С.М. Сакерин<sup>1</sup>, Д.М. Кабанов<sup>1</sup>, А.П. Ростов<sup>1</sup>, С.А. Турчинович<sup>1</sup>,  
П.И. Шунайлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, dkab@iao.ru*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, pavel0292@mail.ru*

Представлен ореольный солнечный фотометр ASP с переменным углом поля зрения. Фотометр состоит из двух основных узлов: оптико-электронный блок и системы наведения/слежения за Солнцем, адаптированной к работе в условиях полупрозрачной облачности. Оптико-электронный блок представляет собой шесть отдельных оптических каналов, объединенных в герметичном термостатированном корпусе, включающих входное окно, интерференционный светофильтр и фотоприемник. Максимумы пропускания светофильтров: 0,374; 0,506; 0,867; 0,940; 1,565 и 2,139 мкм, полуширина  $\Delta\lambda = 0,006 \div 0,01$  мкм.

Смена углов поля зрения (УПЗ) осуществляется путем вращения шаговым двигателем диска с диафрагмами. Предусмотрено семь положений диска. В стартовом положении измерения на всех оптических каналах выполняются с УПЗ = 1,5°. В шести других положениях диска УПЗ на каждом из каналов принимает одно из следующих значений: 2,3; 3,3; 4,6; 5,7; 7,6 и 9,3°.

Электронная схема ASP, аналогичная фотометру SP-9 [1] (микроконтроллер ATmega-128, 14-разрядный АЦП, flash-память, термостат и др.), дополнена контроллером управления шаговым двигателем. Как и в SP-9, данная схема позволяет проводить измерения в автономном режиме под управлением встроенной программы. Однако в период испытаний работа микроконтроллера осуществлялась по командам программы с внешнего ПК через последовательный порт.

В докладе представлены результаты тестовых измерений в условиях, когда Солнца не перекрыто облаками и в полупрозрачной облачности.

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1112–1117.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ДАННЫМ НЕЗАТЕНЕННОГО ПИРАНОМЕТРА

Е.С. Карташова<sup>1</sup>, С.В. Зуев<sup>1,2</sup>, Н.П. Красненко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
г. Томск, Россия, [sunny@imces.ru](mailto:sunny@imces.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия

Предлагается способ оценки характеристик солнечного излучения по данным незатененного пиранометра путем определения значений рассеянной радиации  $D$  по данным суточного хода суммарной радиации  $Q$  при переменной и разорванной облачности, путем выделения из нее значений прямой  $S'$  и рассеянной  $D$  радиации с использованием параболической аппроксимации минимально возможных значений последней, когда  $Q = D$ , а также с использованием средних многолетних значений солнечной радиации при ясном небе и при средних условиях облачности.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЬНЫХ СРЕД

Д.М. Лубенко<sup>1</sup>, А.А. Лисенко<sup>2,5</sup>, Г.Г. Матвиенко<sup>2</sup>, В.К. Ошлаков<sup>2</sup>,  
Е.Г. Каблукова<sup>3</sup>, А.Г. Аншиц<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия, [lideru@gmail.com](mailto:lideru@gmail.com)

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [Lisenko@iao.ru](mailto:Lisenko@iao.ru)

<sup>3</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия, [jane\\_k@ngs.ru](mailto:jane_k@ngs.ru)

<sup>4</sup>Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск, Россия, [Anshits@icct.ru](mailto:Anshits@icct.ru)

<sup>5</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, [Lisenko@iao.ru](mailto:Lisenko@iao.ru)

В настоящее время получил развитие метод терагерцовой (ТГц) спектроскопии с временным разрешением, позволяющий анализировать характеристики исследуемых объектов в широком спектральном диапазоне (0,1–10 ТГц), практически недоступном для других спектроскопических методов. В рамках выполнения совместного ИСЭ, ИОА, ИМКЭС СО РАН технологического проекта «Создание сверхмощного фемтосекундного лазерного комплекса и разработка новых технологий на его базе» был создан ТГц спектрометрический комплекс на базе фемтосекундного Ti:Sapphire-лазера «Старт-480М», генератором ТГц-излучения в котором служит фотопроводящая антенна, изготовленная из кристалла LT-GaAs и снабженная кремниевой полусферической линзой для коллимации ТГц-излучения. При помощи данного комплекса был апробирован метод спектральной прозрачности (МСП) определения дисперсности частиц и получены экспериментальные данные по коэффициентам спектральной прозрачности для нескольких фракций ценосфер, отличающиеся распределением глобул по размерам. Исследуемые образцы были выделены по технологической схеме, включающей стадии магнитной и гранулометрической сепарации из концентратов ценосфер Московской ТЭЦ-22 и Рефтинской ГРЭС.

Произведенное сравнение восстановленных спектров распределения исследуемых фракций ценосфер по размерам на основе полученных экспериментальных данных с результатами обработки микроснимков показали достоверность и достаточно высокую точность используемого спектроскопического метода.

1. Царев М.В. Генерация и регистрация терагерцового излучения ультракороткими лазерными импульсами. Нижний Новгород: Нижегородский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, 2010. 74 с.
2. Теоретические и прикладные проблемы рассеяния света / Под ред. Б.И. Степанова, А.П. Иванова. Минск: Наука и техника, 1971. 487 с.
3. Ван де Хюлт Г. Рассеяние света малыми частицами. М.: Наука, 1961. 460 с.
4. Шаронова О.М., Аншиц Н.Н., Аншиц А.Г. // Неорганические материалы. 2013. Т. 49, № 6. С. 625–634.
5. Philipp in Palik E. Handbook of Optical Constants of Solids. Acad. Press. 1985. P. 749.

## ОЦЕНКИ СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ С ПОМОЩЬЮ PAR-СЕНСОРА

В.В. Бармин<sup>1</sup>, С.В. Зуев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
г. Томск, Россия, [valery@barmin.club](mailto:valery@barmin.club)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На солнечную радиацию в PAR-диапазоне (Photosynthetic Active Radiation) от 400–700 нм, способную стимулировать рост растений, приходится около 45% суммарной солнечной радиации.

В настоящей работе представлены результаты сравнения данных PAR-сенсора QSO-S, полученных в фотосинтетическом диапазоне 400–700 нм, с данными пиранометра СМ-11 о суммарной солнечной радиации в диапазоне 305–2800 нм при различных типах облачности.

Также приводятся результаты сравнения данных о солнечной радиации в диапазонах 400–1100 и 300–800 нм с данными СМ-11.

## ПОВЫШЕНИЕ КОНТРАСТНОСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛУЧА ЛАЗЕРА НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 1,6 мкм В ГЛУБИННОМ РЕЖИМЕ

В.Г. Ошлаков<sup>1</sup>, Я.А. Илюшин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [oshlakov@iao.ru](mailto:oshlakov@iao.ru)

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

При распространении коллимированных пучков лазерного излучения в атмосфере наблюдается эффект его рассеяния. Многократное рассеяние при  $\tau > 5 \dots 6$  становится заметным по сравнению с однократным рассеянием [1]. Рассеяние излучения делает видимым луч лазера и это позволяет создать новый тип систем местоопределения – лазерные лучевые инструментальные системы ориентирования (ЛЛИСО) [2, 3]. Многократное рассеяние уменьшает контраст изображения луча на многоэлементном фотоприемнике и, следовательно, уменьшает точность ЛЛИСО. Для расчета изображения луча применялось усовершенствованное малоугловое приближение теории переноса излучения с учетом дисперсии длин путей распространения излучения [4]. В качестве модельных использовались индикатрисы тумана [5, 6]. Показано, что изображение луча, создаваемое 1-й и 2-й кратностями рассеяния близки друг к другу. Это говорит, что акты рассеяния 2-й кратности происходят вблизи луча. Многократное рассеяние вследствие большого числа рассеяний под разными углами будет представлять неполяризованное излучение, если излучение лазера полностью поляризовано. Если ввести матрицу рассеяния 1-й и 2-й кратности, то можно с ее помощью подобрать поляризацию излучения лазера и поляризационные характеристики многоэлементного фотоприемника, чтобы ослабить изображение, даваемое рассеянным излучением кратности выше 2-й [7].

1. Розенберг Г.В. Сумерки. М.: Физматгиз, 1963. 380 с.
2. Ошлаков В.Г. Патент № 2322371. Способ ориентирования движущегося транспорта по световому лучу и устройство для его реализации. 01.02.2006 г.
3. Ошлаков В.Г., Цвык Р.Ш., Солдатов А.Н., Илюшин Я.А. // Известия вузов. Физ. 2013. Т. 56, № 10/2. С. 84–93.
4. Илюшин Я.А. // J. Quant. Spectrosc. Radiat Transfer. 2012. V. 113. P. 348–354.
5. Бартенева О.Д. // АН СССР. Сер. Геофиз. 1960. № 12. С. 1852.
6. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М.: Мир, 1971. 300 с.
7. Ошлаков В.Г., Ошлаков В.К., Еремина Т.А. Оптимальные поляризационные характеристики приборов, регистрирующих рассеянное излучение // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 7. С. 635–640.

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЛАЗЕРНЫМИ РЕПЕРАМИ

В.Г. Ошлаков

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, [oshlakov@iao.ru](mailto:oshlakov@iao.ru)

Современный уровень развития вычислительной техники позволяет внедрять в практику поляризационных исследований новые подходы [1–3]. Их использование ставит новые требования к выпускаемым в настоящее время фазовым пластинам. Дело в том, что положение быстрой оси на них все мировые производители указы-

вают в виде риски. Новые методы поляризационных измерений требуют знать их положение с точностью не менее  $0,1^\circ$ . Ясно, что такое положение дел не соответствует современным требованиям. Решением проблемы является применение лазерных реперов, представляющих собой малогабаритные лазеры, укрепленные на фазовой пластине, луч которых с высокой точностью совмещается с положением ее быстрой оси. Это позволяет практически беспредельно повышать точность задания быстрой оси. Разработан измеритель поляризационных элементов на основе монохроматора МУМ и призмы Волластона, который снабжен также рядом лазерных реперов. Их использование кроме того повышает оперативность проведения измерения поляризационных элементов.

1. *Ошлаков В.Г.* Оптимальный измеритель матрицы рассеяния // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5, № 11. С. 1190–1193.
2. *Ошлаков В.Г., Борков Ю.Г.* Численный анализ аппаратной матрицы поляризационного измерителя // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15, № 7. С. 635–640.
3. *Ошлаков В.Г., Ошлаков В.К., Еремина Т.А.* Оптимальные поляризационные характеристики приборов, регистрирующих рассеянное излучение // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 7. С. 635–640.

## ОЦЕНКА ОБЩЕГО БАЛЛА ОБЛАЧНОСТИ ПО ДАННЫМ РАССЕЯННОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

С.В. Зувев<sup>1,2</sup>, Е.С. Карташова<sup>1</sup>, А.И. Комаров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия, [zuev@imces.ru](mailto:zuev@imces.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Одним из определяющих факторов в формировании радиационного баланса земли является облачность, которая оказывает непосредственное влияние на величину суммарной солнечной радиации. При этом величина составляющей ее рассеянной радиации напрямую зависит от количества и формы облаков, а также от их распределения по небесному своду.

В данной работе предлагается способ оценки общего балла облачности путем анализа величины рассеянной солнечной радиации для разных типов облаков с использованием средних многолетних значений рассеянной радиации при ясном небе и при средних условиях облачности.

## АЭРОЗОЛЬНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ СТРАТОСФЕРЫ НАД ТОМСКОМ В ПЕРИОД ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ 2006–2011 гг.

Д.А. Трифонов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия, [dmitriy.trifonov.91@mail.ru](mailto:dmitriy.trifonov.91@mail.ru)

Измерения характеристик стратосферного аэрозоля (СА) осуществляется в ИОА СО РАН в Томске с 1986 г. После релаксации аэрозольного возмущения стратосферы в результате возмущения вулкана Пинатубо (июнь 1991 г., Филиппины). С 1996 по 2006 г. в стратосфере наблюдалось фоновое аэрозольное содержание. С 2006 г. наблюдалась серия извержения вулканов Тихоокеанского «Огненного кольца» и Исландии. Вулканы «Огненного кольца» расположены вдоль границ тихоокеанской литосферной плиты [1]. Вероятно, что тектонические процессы одной природы вызвали вулканические извержения «Огненного кольца» в 2006–2009 гг. и стали причиной трагического землетрясения и цунами на Тихоокеанском побережье Японии и других стран в марте 2011 г.

Следы этих извержений регистрировались нами в стратосфере над Томском. Для определения источников повышенного содержания аэрозоля в стратосфере над Томском применялся метод построения обратных траекторий движения воздушных масс [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Миннауки и Образования (Соглашение № 14.604.21.0100), Российского научного фонда (Соглашение № 14-27-00022) и гранта президента РФ по поддержке ведущих научных школ (НШ – 4714.2014.5)

1. *Бурлаков В.Д., Долгий С.И., Невзоров А.В., Шмирко К.А., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Букин О.А., Чайковский А.П., Осипенко Ф.П., Трифонов Д.А.* Аэрозольные возмущения стратосферы после извержения вулкана Гримсвотн (Исландия, май 2011 г.) по данным наблюдений станций лидарной сети стран СНГ CIS-LiNet в Минске, Томске и Владивостоке // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26, № 7. С. 547–552.
2. *Air Resources Laboratory.* HYSPLIT Trajectory Model. [web-ресурс]. URL: <http://www.ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajasrc.pl> [режим обращения свободный] (дата обращения: 25.05.2014).

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ СРЕДНЕГО КОСИНУСА ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ ИНТЕГРИРУЮЩИХ НЕФЕЛОМЕТРОВ

М.А. Свириденков

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

Средний косинус индикатрисы рассеяния света  $g$  (*asymmetry factor* в англоязычной литературе) является одним из основных параметров, определяющих радиационно-климатические эффекты атмосферного аэрозоля. Он может быть определен как непосредственно по результатам измерений угловых зависимостей светорассеяния [1], так и на основе расчетов для микроструктуры аэрозоля, измеренной счетчиками частиц, или восстановленной путем решения обратной задачи светорассеяния. Еще один возможный подход основывается на установлении корреляционных связей  $g$  с другими оптическими, или микрофизическими параметрами аэрозоля [2, 3].

В настоящее время основными инструментами оптических исследований аэрозоля в локальных объемах являются различные модификации интегрирующих нефелометров. Их современные варианты измеряют не только коэффициенты рассеяния на нескольких длинах волн, но и их составляющие для различных диапазонов интегрирования, что позволяет решать обратную задачу. В докладе на основе численных экспериментов анализируются возможности определения средних косинусов индикатрисы рассеяния непосредственно по данным нефелометров TSI 3563 и Aurola 4000 и методом микрофизической интерполяции. Оценены погрешности, вызванные ограниченным диапазоном углов интегрирования и неточным заданием показателя преломления вещества аэрозоля.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-05-00956).

1. Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Исаков А.А., Свириденков М.А. // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1976. Т. 12, № 10. С. 1034–1044.
2. Свириденков М.А. // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1980. Т. 16, № 7. С. 751–754.
3. Ricchiuzzi P.J., Gautier C. // Proceedings 13<sup>th</sup> Atmospheric Radiation Measurements (ARM) Science Team Meeting, Broomfield, Colorado. 2003.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ, ОСНОВАННОГО НА ГЕНЕРАЦИИ В АТМОСФЕРУ АЭРОЗОЛЕ-ГАЗОВЫХ СОЛИТОНОВ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ФОТО-ВИДЕО РЕГИСТРАЦИЕЙ ИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ТРАНСФОРМАЦИИ

М.В. Речицкий

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

Для понимания процессов, влияющих на изменение климата Земли, важными являются данные по таким параметрам атмосферы, как загрязнение аэрозолями антропогенного происхождения. По имеющимся данным, содержание такого аэрозоля в общей массе аэрозоля земной атмосферы уже достигло значительного уровня, и его концентрация продолжает возрастать. В ИОА СО РАН в течение ряда лет разрабатываются методы зондирования атмосферы на основе взаимодействия оптического излучения с ее веществом.

В настоящем докладе рассматривается метод оценки физических свойств атмосферы (а именно: высотного профиля скорости и направления движения воздушных масс в районе зондирования). В основе метода генерация в атмосферу импульсов аэрозоле-газовых смесей и последующая за этим фото и видео фиксация их изображений во времени. После математической обработке зарегистрированных временных рядов изображений, указанных устойчивых аэрозоле-газовых образований оценивается высотный профиль скорости и направления движения атмосферных воздушных масс.

## ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА ОСНОВАНИИ ОПЕРАТИВНО ДОСТУПНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В.П. Галилейский<sup>1</sup>, А.И. Елизаров<sup>1,2</sup>, Д.В. Кокарев<sup>1</sup>, А.М. Морозов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия, alex@iao.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

В задачах исследования атмосферы необходимо знать текущее состояние облачности, которое может оказывать негативное влияние на проведение исследований. При лазерном зондировании верхних слоев атмосферы с поверхности планеты, необходимо чтобы над участком зондирования наличие облачности было минимальным, т.е. необходимо знать наличие «окон прозрачности». Зная состояние облачности на текущий момент, и составив прогноз, мы можем выдавать информацию о вероятно наиболее удобном времени для проведения зондирования.

Для наблюдения за облачностью в больших масштабах целесообразно использовать спутниковые снимки. Но использование такой информации накладывает ряд ограничений. Первое – достаточно большие объемы данных, а также их избыточность, второе – сложности в привязке спутниковых снимков к координатам на Земле. К этим ограничениям добавляется ограниченность доступа к спутниковым снимкам.

В настоящее время существует возможность получать информацию об облачности из открытых источников. Наиболее развитым и доступным является инструментарий Google карт [1]. Информация предоставляется в виде спутниковых снимков, с интервалом в 1 ч, над участком с задаваемыми координатами. Предлагается использование API Google карт для определения текущего состояния облачных полей и «окон прозрачности». На основе анализа серии снимков сегментированных изображений «облачных полей» выполняется прогнозирование перемещения облачности.

1. Елизаров А.И., Галилейский В.П., Кокарев Д.В., Морозов А.М. Определение параметров облачности и составление прогноза с использованием API Google карт // XXIV Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн». Иркутск, 2014. С. 78–81.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ СЕЗОНА 2013 г.

С.А. Сартин<sup>1</sup>, А.А. Солодовник<sup>1</sup>, А.К. Каратаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Северо-Казахстанский государственный университет, г. Петропавловск, Казахстан

<sup>2</sup>Казахско-турецкий лицей, г. Петропавловск, Казахстан

Изучением МСО, с целью построения полноценной модели их образования, с учетом особенностей строения атмосферы, сотрудники Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева занимаются с 1989 г. За этот долгий период времени накоплена огромная наблюдательная база, которая показывает некоторые изменения в условиях видимости облаков в различные сезоны. В данной работе предлагаются результаты обработки полученного материала за 2013 г.

Регистрация моментов появления МСО осуществлялась с наблюдательных точек, вынесенных за пределы города Петропавловск, на цифровые камеры Canon EOS 1000D, с автоматической съемкой, выполняемой посредством внешнего таймера.

На фоне последних лет 2013 г. выделяется количеством (22) наблюдательных ночей, в которые фиксировалось появление МСО, обычно составляло 12–14 ночей. За весь наблюдательный период 2013 г. получено около трех тысяч снимков, на которых зарегистрированы факты присутствия МСО. Также из открытых источников были получены материалы со спутника АИМ.

Проведена комплексная обработка полученного материала, из которой следует, что наблюдаемые нами серебристые облака не видны для спутника АИМ. Так же для формирования полноценной модели образования МСО требуется знать количество влаги, т.е. знать площадь облака целиком, которое сконденсировалось в наблюдаемый момент.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЗЕМНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА, ВЛАЖНОСТИ И АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

А.Л. Афанасьев, А.П. Ростов, Н.А. Шефер

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

С целью экспериментальных исследований турбулентных потоков импульса, тепла, влаги и аэрозоля в приземном слое атмосферы были проведены синхронные измерения флуктуаций трех компонент скорости ветра, флуктуаций температуры, пульсаций абсолютной влажности, пульсаций коэффициента аэрозольного рассеяния и осуществлено накопление получаемой информации при различных термодинамических состояниях приземного слоя воздуха. В ходе экспериментов было сделано оценивание на основе полученных экспериментальных данных пространственно временных корреляционных функций компонент скорости ветра и вертикальных турбулентных потоков момента количества движения, тепла, абсолютной влажности и аэрозоля.

## АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ ИЗ СИГНАЛОВ КР-ЛИДАРА ИМКЭС СО РАН

В.В. Герасимов<sup>1,2</sup>, В.В. Зуев<sup>1</sup>, В.Л. Правдин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия, gvvsnake@mail.ru*

Представлены результаты восстановления температуры тропосферы и нижней стратосферы (2–14 км), полученные с помощью чисто вращательного КР-канала лидарного комплекса ИМКЭС СО РАН. В докладе обсуждается алгоритм обработки лидарных сигналов и определения калибровочных коэффициентов лидара. Для улучшения отношения сигнал-шум исходные лидарные сигналы сглаживались методом переменного скользящего среднего. Калибровочные коэффициенты лидара определялись методом наименьших квадратов при сравнении данных лидара и шар-зондов. В методе наименьших квадратов для описания зависимости логарифма отношения сигналов двух полос чисто вращательного КР-спектра от температуры использовались линейная и 4 типа нелинейных аппроксимаций. Проведенные оценки показали, что добавка нелинейного члена в аппроксимацию позволяет существенно минимизировать отклонения между лидарными и шар-зондовыми профилями температуры.

В пограничном слое атмосферы (0–2 км), где плотность частиц аэрозоля различной природы максимальна, наблюдаются наибольшие искажения лидарного профиля температуры. Поэтому в докладе также обсуждается природа этих искажений и способы устранения данной проблемы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России (государственное задание № 2014/223).

## ОЦЕНКА ФАКТОРА АСИММЕТРИИ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЙЯНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЧАСТОТНОГО ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

М.А. Свириденков<sup>1</sup>, Ю.С. Балин<sup>2</sup>, Г.П. Коханенко<sup>2</sup>, И.Э. Пеннер<sup>2</sup>, С.В. Самойлова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия, misv@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

Для расчетов потоков и притоков излучения на различных высотах в атмосфере необходимо задание стратификации радиационно-значимых параметров атмосферного аэрозоля. Одним из них является средний косинус  $g$  (фактор асимметрии) индикатрисы рассеяния света аэрозолем. Осредненное по столбу атмосферы значение  $g$  можно восстановить, решая обратную задачу для данных наземных спектральных измерений прямой и рассеянной солнечной радиации. Локальные же измерения на самолетах и зондах совокупности оптических характеристик, достаточной для оценки  $g$ , трудоемки и затратны. В настоящее время для активного зондирования атмосферного аэрозоля широко применяются многоволновые лидары с каналами комбинационного рассеяния. В ИОА СО РАН проводятся измерения на лидаре ЛЮЗА-С, позволяющие получать данные о высотном ходе коэффициентов обратного рассеяния на длинах волн 355, 532 и 1064 нм и коэффициентов ослабления в первых двух диапазонах. Такой набор входных параметров позволяет, в принципе, ставить вопрос о решении обратной задачи и восстановлении микроструктуры и оптических постоянных аэрозоля



В докладе, на основе численных экспериментов с модельными и реальными распределениями частиц по размерам и обработки данных натуральных наблюдений, анализируются возможности оценки фактора асимметрии как с использованием аппарата обратных задач, так и путем установления корреляционных связей между  $g$  и параметрами, получаемыми непосредственно из экспериментальных данных.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты № 13-05-00956а, 13-05-00096а и 13-08-98013а).

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

А.А. Жирнов, С.С. Титов, О.Б. Кудряшова

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск, Россия, toluol\_88@mail.ru*

При измерениях дисперсных характеристик аэрозолей, особенно в условиях быстропротекающих процессов, используются оптические методы измерений, такие как модифицированный метод малоуглового рассеяния [1] и метод спектральной прозрачности [2]. При большом объеме экспериментальных данных особенно важной становится задача автоматизации их обработки. На основе модификации известных алгоритмов [3, 4] и применения гетерогенного персонального суперкомпьютера (технология Nvidia CUDA) в работе предлагается алгоритм автоматической обработки данных результатов измерений, полученных указанными оптическими методами. Автоматизация позволит сократить время выдачи результатов и исключить ошибки, связанные с ручной обработкой данных.

Для повышения точности полученных результатов вместо аппроксимации распределения частиц по размерам аналитической функцией решение ищется в виде многопараметрической функции распределения (гистограммы), что значительно повышает требования к структуре алгоритма и производительности для разрабатываемого программного комплекса.

1. *Ахмадеев И.Р.* Метод и быстродействующая лазерная установка для исследования генезиса техногенного аэрозоля по рассеянию луча в контролируемом объеме. Дис. ... канд. техн. наук. 01.04.01. Бийск, 2008. 86 с.
2. *Титов С.С.* Турбидиметрический высокоселективный метод и быстродействующий измерительный комплекс определения параметров нестационарных многофазных сред. Дис. ... канд. техн. наук. 01.04.01. Бийск, 2011. 153 с.
3. *Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях* / Под ред. В.Ф. Кравченко. М.: Физматлит, 2007. 544 с.
4. *Ахмед Н., Рао К.Р.* Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко. М.: Связь, 1980. 248 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛИННОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НОВОСИБИРСКОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ С КАПЕЛЬНЫМ АЭРОЗОЛЕМ

Г.Н. Кулипанов<sup>1</sup>, А.А. Лисенко<sup>2,4</sup>, Г.Г. Матвиенко<sup>2</sup>, В.К. Ошлаков<sup>2</sup>, С.В. Бабченко<sup>2</sup>, Е.Г. Каблукова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Институт ядерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Россия, G.N.Kulipanov@inp.nsk.su*

<sup>2</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, Lisenko@iao.ru*

<sup>3</sup>*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия, jane\_k@ngs.ru*

<sup>4</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия, Lisenko@iao.ru*

Проведены экспериментальные исследования взаимодействия мощного терагерцового излучения Новосибирского лазера на свободных электронах на длине волны 117 мкм в окне прозрачности атмосферы с модельным аэрозольным облаком, имеющим известную функцию распределения капель по размерам. Приведено сопоставление экспериментальных результатов с теоретическими расчетами, полученными при решении лидарного уравнения для условий эксперимента.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта междисциплинарных фундаментальных исследований в СО РАН № 52.

1. *Siegel P.H.* THz Instruments for Space // IEEE. Transactions on Antennas and Propagation. 2007. V. 55, N 11. P. 2957–2965.
2. *Knyazev B.A., Kulipanov G.N., Vinokurov N.A.* Novosibirsk terahertz free electron laser: instrumentation development and experimental achievements // Measurement Science and Technology. 2010. V. 21. 054017. P. 13.
3. *Межерис П.* Лидарное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987.

## ГЕНЕРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА В РЕЗУЛЬТАТЕ ФИЛАМЕНТАЦИИ ТЕРАВАТТНЫХ ИМПУЛЬСОВ В АТМОСФЕРЕ

Г.Г. Матвиенко, А.А. Лисенко, В.К. Ошлаков

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

В настоящее время активно развиваются средства генерации излучения терагерцового (ТГц) диапазона и методы исследования окружающей среды с его помощью. Наибольший интерес проявляется к исследованию возможности генерации излучения ТГц диапазона в результате взаимодействия объектной среды с мощными тераваттными (ТВт) фемтосекундными импульсами. При проведении экспериментов на фемтосекундном атмосферно-оптическом стенде ИОА СО РАН ( $\lambda = 790$  нм,  $P_{\text{имп}} > 3$  ТВт,  $f = 10$  Гц) на атмосферной трассе зарегистрировано ТГц излучение (диапазон  $\lambda > 15$  мкм) в начале (дистанция 15 м) и в конце (110 м) зоны филаментации фемтосекундных импульсов.

Развитие данного направления исследований имеет большие перспективы в задачах зондирования с целью исследования аэрозольных составляющих атмосферы.

Работа выполнена в рамках научной программы гранта Президента РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-4714.2014.5 «Лазерное зондирование атмосферы и океана».

## О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КАПЕЛЬ РАСПЛАВА В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ

В.А. Архипов<sup>1</sup>, С.С. Бондарчук<sup>2</sup>, И.К. Жарова<sup>1</sup>, В.Д. Гольдин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики  
Томского государственного университета, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск, Россия*

Представлена физико-математическая модель кристаллизации капель расплава алюминия в факеле распыла эжекционной форсунки. Поле течения газовой фазы за срезом сопла форсунки рассчитывалось с использованием пакета Ansys Fluent. Динамика капель расплава в газовой фазе рассчитывалась в рамках траекторного подхода. Общее время, затраченное на охлаждение жидкой сферической частицы до полного затвердевания, определялось как сумма времен остывания капли  $t_1$  до температуры кристаллизации и времени кристаллизации  $t_2$ . Приведены результаты анализа численных расчетов, проведенных на основании представленной модели. Установлен диапазон изменения времени кристаллизации частиц расплава алюминия в зависимости от диаметра капель в факеле распыла.

## СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ НАНОПОРОМЕТРИЯ АЭРОГЕЛЯ

Т.М. Петрова<sup>1</sup>, Ю.Н. Пономарёв<sup>1</sup>, А.А. Солодов<sup>1</sup>, А.М. Солодов<sup>1</sup>, А.Ф. Данилюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, yuron@iao.ru*

<sup>2</sup>*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Исследования спектров поглощения молекул, находящихся в газовой фазе внутри объема нанопор начались недавно [1–4], данной тематике посвящено значительно меньше работ, чем спектрам адсорбированных молекул. В работе [1] были рассмотрены возможности метода диодной лазерной спектроскопии для оценки размеров нанопор в циркониевой керамике по уширению спектральных линий кислорода. Минимальный размер пор наноструктурных материалов, исследуемых в [1], был более 50 нм, между собой образцы по размеру пор отличались на десятки нм.

В настоящей работе мы впервые определили размер нанопор в аэрогелях, характеризующихся квазиоднородным распределением нанопор по размерам и их малым диаметрам (15–25 нм). Значения диаметра нанопор определялись по измеренным с высоким разрешением полуширинам спектральных линий полосы поглощения 0–2 оксида углерода методом Фурье-спектроскопии. Полученные данные сопоставлены с данными независимых измерений размеров нанопор в том же образце по методу низкотемпературной адсорбции азота.

Работа выполнена по проекту RFMEI57814x0042.

1. Svensson T., Adolfsson E., Burresti M., Savo R., Xu C.T., Wiersma D.S., Svanberg S. // Applied Physics. B. 2013. V. 110. P. 147.
2. Ponomarev Yu.N., Petrova T.M., Solodov A.M., Solodov A.A. // Optics Express. 2010. V. 18, N 25. P. 26062–26067.
3. Пономарев Ю.Н., Петрова Т.М., Солодов А.А., Солодов А.М. // Письма в ЖЭТФ. 2014. Т. 99, № 11. С. 721–723.
4. Hartmann J.-M., Boulet C., Vander Auwera J., El Hamzaoui H., Capoen B., Bouazaoui M. // Journal of Chemical Physics. 2014. V. 140. P. 06430.

## НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП НА ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЯ, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ФОТОНУКЛЕАЦИИ БИОГЕННЫХ АЛЬДЕГИДОВ

С.Н. Дубцов<sup>1</sup>, Г.Г. Дульцева<sup>1,2</sup>, Ф.Н. Дульцев<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия, dubtsov@kinetics.nsc.ru

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Наночастицы, образующиеся при атмосферной фотонуклеации органических соединений, содержат поверхностные функциональные группы, идентификация которых при помощи традиционных физико-химических методов затруднена из-за малой концентрации и высокой реакционной способности этих частиц.

В работе проведена идентификация поверхностных групп наночастиц, образующихся при фотолизе фурфурала – одного из альдегидов, генерируемых при лесных пожарах. Был использован метод сканирования явлений отрыва (REVS), предложенный ранее для определения нанообъектов. Детектирование наночастиц и идентификацию их функциональных групп провели при помощи сенсора на базе кварцевого резонатора с химически модифицированной поверхностью, колеблющегося в сдвиговой моде с нарастающей амплитудой при сканировании напряжения от 0 до 10 В. Момент отрыва частиц фиксируется по возникновению искажений на амплитудно-частотной характеристике. Напряжение, при котором происходит отрыв частицы, зависит от силы связывания частицы с поверхностью резонатора. Сопоставление химических свойств поверхности (при разных способах ее модифицирования) с наблюдаемыми силами связывания частиц позволяет определять наличие функциональных групп и их природу. Так, например, при помощи аминного модифицирования поверхности резонатора было показано, что наночастицы, образующиеся при фотонуклеации фурфурала, содержат карбоксильные группы. Предложенный метод позволяет исследовать частицы в среде их образования, исключая процедуры пробоотбора и пробоподготовки, что делает этот метод перспективным для изучения реакционноспособных органических наночастиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 14-05-00643) и междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35 и 86.

## ОЦЕНКИ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Н.Н. Щелканов

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

Выполнены оценки случайных погрешностей коэффициентов аэрозольного ослабления для измерителя спектральной прозрачности атмосферы [1]. Измеритель установлен на территории обсерватории «Фоновая» ИОА СО РАН, находящаяся в районе пос. Киреевск Томской области. Длина горизонтальной трассы с отражением составляет 1200 м.

Оценки случайных погрешностей измеряемых коэффициентов аэрозольного ослабления выполнены для участков спектра, выделяемых интерференционными светофильтрами, с центрами на длинах волн 0,55; 0,56; 0,69; 0,87 и 1,06 мкм. Расчеты погрешностей проведены на основе экспериментальных данных, полученных в июле–августе 2014 г. Время усреднения коэффициентов аэрозольного ослабления на каждой длине волн составляло 2 мин 40 с. Расчет случайных погрешностей выполнялся с использованием методов [2].

В результате проведенных расчетов получены следующие значения случайных среднеквадратических погрешностей: для диапазона коэффициентов аэрозольного ослабления от 0 до  $0,2 \text{ км}^{-1}$  погрешность составила  $0,017 \text{ км}^{-1}$ , от 0,2 до  $0,4 \text{ км}^{-1}$  –  $0,02 \text{ км}^{-1}$ , от 0,4 до  $0,7 \text{ км}^{-1}$  –  $0,022 \text{ км}^{-1}$  и от 0,7 до  $1,0 \text{ км}^{-1}$  –  $0,03 \text{ км}^{-1}$ .

1. Ростов А.П., Щелканов Н.Н. Экспедиционный измеритель спектральной прозрачности атмосферы // Аэрозоли Сибири. XVII Рабочая группа: Тезисы докладов. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2010. 93 с.
2. Щелканов Н.Н. Методы вычисления случайных погрешностей параметров окружающей среды из экспериментальных данных // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 9. С. 815–821.

## РАДИАЦИОННЫЙ $\beta/\gamma$ -ИНДИКАТОР ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ

А.А. Степаненко<sup>1</sup>, П.М. Нагорский<sup>1,2</sup>, В.С. Яковлева<sup>1</sup>, И.И. Ипполитов<sup>2</sup>, П.П. Фирстов<sup>3,4</sup>,  
Е.О. Макаров<sup>4</sup>, С.В. Смирнов<sup>2</sup>, С.Э. Смирнов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия, sasha9208@rambler.ru

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

<sup>3</sup>Камчатский филиал геофизической службы РАН, Россия

<sup>4</sup>Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
п. Паратунка, Камчатская обл., Россия

Предложен и исследован новый радиационный  $\beta/\gamma$ -индикатор опасных природных и техногенных явлений – отношение измеренных значений плотности потоков бета и гамма-излучений в приземной атмосфере. Предпосылкой к рассмотрению этого трассера явились результаты численных экспериментов совместно с многолетними исследованиями полей ионизирующих излучений, естественной радиоактивности, метеорологических и атмосферно-электрических параметров (на экспериментальных площадках) в Сибири и на Камчатке. Физическим объяснением  $\beta/\gamma$ -трассера служит следующее. Численными экспериментами было подтверждено, что отношение выходов бета и гамма-излучений ( $\beta/\gamma$ -индекс) в единице объема воздуха в единицу времени на определенной высоте от земной поверхности является постоянной величиной для данной точки контроля в условиях «хорошей погоды». Приводится описание методологии эксперимента и приборного обеспечения станций мониторинга в Томске и на Камчатке. В работе изложены результаты исследований реакции  $\beta/\gamma$ -индекса на различные климатические явления. Экспериментально был зафиксирован выброс во временной зависимости отношения скоростей счета  $\beta$ - и  $\gamma$ -импульсов в случае прохождения циклона через территорию Японии (Фукусима) на Камчатку.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ–ПЕРО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ АТМОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МЕТОДИКИ

С.Ф. Баландин

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

Ранее проведенные исследования для озона,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  показали возможность применения интерферометра Фабри–Перо для исследования газовых компонент атмосферы при пассивной локации теплового излучения Земли со спутника. В отличие от эталонной газовой кюветы, используемой в качестве спектрального фильтра, настроенного на спектр ослабления измеряемого газа, интерферометр Фабри–Перо обладает значительно большими функциональными возможностями, позволяя осуществлять перестройку параметров как по частоте, так и по амплитуде собственного спектра ослабления. В работе рассмотрены основные параметры интерферометра Фабри–Перо, представлены амплитудно-фазовые характеристики в зависимости от расстояния между пластинами интерферометра, угла наклона пластин к падающему потоку излучения, от коэффициента поглощения вещества пластин.

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ПО МАРШРУТУ НЭС «АКАДЕМИК ТРЁШНИКОВ» (59 РАЭ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ)

В.В. Польшкин, Д.Е. Савкин

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

В соответствии с программой наблюдений в 59-й Российской Антарктической Экспедиции (59 РАЭ) в период с 1 февраля по 9 июня 2014 г. проводились исследования пространственно-временной изменчивости приводного аэрозоля (массовой и счетной концентрации аэрозоля и микрокристаллического углерода, ионного химического состава аэрозоляс борта НЭС «Академик Трёшников» по маршруту: «Санкт-Петербург – Бремерхафен – Кейптаун – Новолазаревская – Прогресс – Кейптаун – Бремерхафен – Санкт-Петербург»). Целью исследований было оценка пространственно-временной изменчивости микрофизических параметров аэрозольных частиц в приводном слое атмосферы в различных районах по маршруту следования судна, анализ факторов определяющих эту изменчивость.

Автоматизированный судовой мобильный комплекс, в состав которого входили фотоэлектрический счетчик частиц АЗ-10, аэталометр МДА-02, позволял проводить измерения счетной концентрации, дисперсного состава в диапазоне размеров  $d = 0,3 \div 10$  мкм, массовую концентрацию субмикронного аэрозоля и его поглощающего вещества.

Полученные данные, характеризующиеся широким разнообразием аэрозольных ситуаций и большим диапазоном вариаций параметров до четырех порядков величины, позволили выявить некоторые пространственные и сезонные особенности их поведения в восточной части Атлантики и Антарктики.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 23.1 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология».

## ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА

О.В. Адмаев<sup>1</sup>, С.В. Ковтун<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ИрГУПС,  
г. Красноярск, Россия, oadmaev@mail.ru*

<sup>2</sup>*Красноярская лаборатория судебной экспертизы при Министерстве юстиции РФ,  
г. Красноярск, Россия*

Географическая особенность г. Красноярска заключается в том, что большая его часть расположена на нижних террасах р. Енисей. С целью исключения значительного влияния промышленных выбросов, концентрируемых в верхних слоях атмосферы над центральной частью города, для проведения исследования был выбраны микрорайоны «Зелёная Роща» и «Северный», расположенные на возвышенном месте.

В работе осуществлена постановка обратной задачи для дифференциального уравнения переноса вещества и найдены соответствующие коэффициенты в областях, расположенных вблизи автомагистралей с повышенной интенсивностью автотранспортного потока и жилых зданий, исследовано влияние автотранспорта на различные экосистемы при анализе талых вод, с придорожной территории, с помощью метода биоиндикации. Выявлена особенность стимулирующего влияния суммарных выбросов автотранспорта и веществ, поступающих из верхних слоев атмосферы, на реакцию интенсивности свечения морского люминесцирующего микроорганизма *P. phosphoreum* и рекомбинантного штамма *E. coli*. Предложена градация пороговых уровней токсичности для оценки распределенного индекса токсичности и биологического индекса. Построены карты распределения интегральной токсичности по территории микрорайонов «Северный» и «Зелёная роща» Советского района г. Красноярска, расположенных на верхних террасах Енисея.

В качестве биотестов выступали Микробиосенсор В17-677F (на основе светящихся лиофилизированных бактерий *Photobacterium phosphoreum* (*P. ph*) из коллекции культур ИБСО) и Микробиосенсор ЕСК (на основе генетически модифицированного штамма *E. coli* Z905 (*E. coli*)), несущего плазмиду PHL1 с *lux*-геном из *Photobacterium leiognathi*. Отобрано более 180 проб снега в 28 городских и 6 загородных пунктах.

## ЭКОЛОГИЯ ВНУТРИГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СООБЩЕНИЯ

**Е.О. Смольников, А.М. Ткаченко**

*Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал ИрГУПС,  
г. Красноярск, Россия, oadmaev@mail.ru*

В настоящее время Красноярск, как и многие мегаполисы нашей страны, испытывает большие неудобства, связанные с автомобильными пробками на городских улицах. Проблема организации дорожного движения приобретает все большую актуальность. В связи с несоответствием ресурсов улично-дорожной сети и транспортных потоков регулярно возникают транспортные заторы, которые приводят к снижению скорости, а также к увеличению интервалов движения. В настоящее время ритм жизни крупных городов – мегаполисов свидетельствует о том, что прогнозируется перераспределение населения в пользу пригородных территорий, что неизбежно приведет к развитию соответствующих пригородных зон. Запуск пригородных электропоездов во внутригородском сообщении является одним из перспективных этапов решения проблем транспортной доступности Красноярска. В настоящее время внутригородское сообщение включает в себя железнодорожную линию, длиной 39,8 км, на которой расположено 13 остановочных пунктов.

При проведении анализа работы общественного транспорта стоит уделить большое внимание внутригородским перевозкам пригородным железнодорожным транспортом, что является проектом общегородского масштаба, который создаст новый экологический жизненный уровень населения.

В работе проведен анализ транспортных потоков и сделана оценка выбросов в режиме on-line на основе данных сайта «Живой Красноярск» <http://live.krsn.ru>.

## О КОРРЕЛЯЦИИ ПРОФИЛЕЙ ВОДЯНОГО ПАРА И ПРОФИЛЕЙ АЭРОЗОЛЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ПО ЛИДАРНЫМ ДАННЫМ

**И.Э. Пеннер, Ю.С. Балин, Б.А. Воронин, Г.П. Коханенко**

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН,  
г. Томск, Россия, penner@iao.ru, balin@iao.ru, vba@iao.ru, kokh@iao.ru*

По результатам комплексного аэрозольного эксперимента, проведенного в Институте оптики атмосферы, был выполнен анализ содержания водяного пара и аэрозоля в вертикальной толще тропосферы, измеренными различными методами и средствами [1]. Были использованы данные полученные с применением дистанционных методов (лидар) и контактных (радиозонд, наземные измерения). Лидарные методы позволяют получать вертикальные профили измеряемых величин с высоким пространственным разрешением [2]. Измерения лидаром профилей водяного пара в пограничном слое атмосферы методом СКР с калибровкой по приземным измерениям показали очень хорошее согласие с данными измерений радиозонда. Одновременные лидарные измерения обратного рассеяния и отношения смеси водяного пара в атмосфере показали значимую корреляцию содержания водяного пара и аэрозоля распределенного по слоям в планетарном пограничном слое.

1. Пеннер И.Э., Балин Ю.С., Макарова М.В., Аршинов М.Ю., Воронин Б.А., Белан Б.Д., Васильченко С.С., Сердюков В.И., Сеница Л.Н., Половцева Е.Р., Кабанов Д.М., Коханенко Г.П. Измерения содержания водяного пара различными методами. Сравнения профилей водяного пара и аэрозоля // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27, № 8. С. 728–738.
2. Балин Ю.С., Коханенко Г.П., Пеннер И.Э., Самойлова С.В. Исследование вертикального распределения тропосферных аэрозольных слоев по данным многочастотного лазерного зондирования. Часть 1. Методы восстановления оптических параметров // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22, № 4. С. 344–57.

**КРУГЛЫЙ СТОЛ**  
**«ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ,**  
**ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВЕТРОВЫХ ПОЛЕЙ**  
**В АТМОСФЕРЕ»**  
**(руководитель Банах В.А.)**

**ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА**  
**ИЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НЕКОГЕРЕНТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ,**  
**РЕГИСТРИРУЕМЫХ ВИДЕОКАМЕРОЙ**

**А.В. Фалиц, А.Л. Афанасьев, В.А. Банах,**  
**А.П. Ростов**

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

При наблюдении с помощью оптических приборов возникает размытость границ протяженных объектов. Эта размытость вызывается случайными изменениями показателя преломления воздуха в пространстве и во времени. Динамика этого процесса определяется скоростью ветрового переноса атмосферных неоднородностей, что позволяет измерять поперечную относительно направления наблюдения скорость ветра. В работе представлена экспериментальная демонстрация возможности определения скорости поперечного ветра из последовательности некогерентных изображений регистрируемых видеокамерой. Приводятся сравнения регистрируемых скоростей с данными измерений, получаемых с помощью акустического анемометра. Обсуждается возможность создания измерителя бокового ветра.

**КОЛЬЦЕВАЯ ДИСЛОКАЦИЯ ВИХРЕВЫХ БЕССЕЛЕВЫХ ПУЧКОВ**  
**В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ**

**И.П. Лукин**

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

Представлены результаты теоретического исследования поведения степени когерентности поля когерентных вихревых бесселевых оптических пучков, распространяющихся в турбулентной случайно-неоднородной среде. Анализируется влияние оптического вихря на степень пространственной когерентности бесселева пучка в случайно-неоднородной среде, что при определенных условиях проявляется в формировании кольцевой дислокации степени когерентности оптического излучения. Детально изучается структура кольцевой дислокации степени когерентности вихревых бесселевых оптических пучков в турбулентной атмосфере. Для этой цели вводятся две характеристики кольцевой дислокации: ее пространственная координата и ширина кольца. Рассматривается влияние параметров оптического пучка (поперечного волнового числа и топологического заряда) и атмосферной турбулентности (радиуса когерентности плоской оптической волны) на эти характеристики кольцевой дислокации степени когерентности вихревого бесселева оптического пучка. Обсуждается возможность практического использования данного явления для передачи информации в случайно-неоднородной среде и измерения характеристик атмосферной турбулентности.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА УСИЛЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ АЭРОЗОЛЯ В 2014 г.

А.П. Ростов<sup>1</sup>, А.С. Гурвич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, rostov@iao.ru*

<sup>2</sup>*ИФА, г. Москва, Россия*

Для экспериментального подтверждения эффекта обратного рассеяния лазерного излучения от аэрозоля летом 2014 г. было приведена серия работ из 272 реализаций. Авторами разработана и собрана экспериментальная установка лидарного типа двумя синхронными каналами приема, осевым и не осевым, и одним передающим каналом. Синхронизация всей установки производилась от специального контроллера. Обработка полученных данных показала наличие несовпадений с теоретическими предположениями в половине результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 13-05-00320а.

1. Гурвич А.С. Лидар. Патент на полезную модель № 116245. Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 20 мая 2012 г.
2. Гурвич А.С. Лидарное зондирование турбулентности на основе эффекта усиления обратного рассеяния // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48, № 6. С. 655–665.
3. Афанасьев А.Л., Гурвич А.С., Ростов А.П. Экспериментальное исследование эффекта усиления обратного рассеяния в турбулентной атмосфере // XVIII Междунар. симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 2012.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИДАРА «STREAM LINE» ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ САМОЛЕТНЫХ ВИХРЕЙ

И.Н. Смалихо

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

Предложены стратегия измерения и способ оценивания параметров самолетных вихрей из исходных данных, измеряемых когерентным доплеровским лидаром «Stream Line». С использованием численного моделирования, имитирующего работу такого лидара в реальных условиях, определены оптимальные 1) скорость сканирования зондирующим пучком в вертикальной плоскости, 2) расстояние между лидаром и взлетно-посадочной полосой, 3) дальность фокусировки зондирующего пучка и 4) число лидарных импульсов, используемых для аккумуляции эхо-сигналов. Показано, что координаты осей пары самолетных вихрей и их циркуляции (всего 6 параметров) могут быть найдены путем подгонки методом наименьших квадратов теоретически рассчитываемого распределения радиальной скорости, измеряемой лидаром в плоскости сканирования зондирующим пучком поперек взлетно-посадочной полосы, к соответствующему распределению, получаемому из эксперимента. Определена точность оценивания параметров вихрей. Предлагаемый подход апробирован в тестовом эксперименте, проведенном на летном поле аэропорта Томска летом 2014 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00386).

## ОПТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ СВЕРХЗВУКОВМ ОБТЕКАНИИ ТУРЕЛИ

А.А. Сухарев

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

На основе численного моделирования с использованием компьютерного продукта CFD (Computational Fluid Dynamics) строится оптическая модель ударной волны, образующейся при обтекании турели сверхзвуковым потоком воздуха. Проводится ее сравнение с оптической моделью ударной волны, образующейся при сверхзвуковом обтекании конусообразного тела.



## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИХРЕВОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА ЛОКАЦИОННОЙ ТРАССЕ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ С ОТРАЖЕНИЕМ ОТ ДИФFUЗНОЙ МИШЕНИ**

**Д.С. Рычков**

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

На основе метода фазовых экранов для моделирования распространения лазерного излучения в случайно неоднородной среде были проведены исследования эффектов двойного прохождения вихревого лазерного пучка на трассе в турбулентной атмосфере при отражении от плоской диффузной мишени. Результаты численного моделирования сравниваются с результатами расчетов, выполненных в приближении слабых флуктуаций интенсивности для Лагерр-Гауссова пучка.

## **МЕТОД РАСЩЕПЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ**

**Л.О. Герасимова**

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

Представлен алгоритм численного моделирования распространения короткоимпульсного лазерного излучения в турбулентной атмосфере на основе решения параболического волнового уравнения для комплексной спектральной амплитуды поля волны методом расщепления по физическим факторам. Проведено сравнение результатов моделирования с расчетами средней интенсивности по квадратурным формулам для момента поля второго порядка. Сравнения показали высокую точность совпадения результатов моделирования с расчетными данными по квадратурным формулам для функции когерентности поля импульсного пучка.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 13-02-98016-р\_сибирь.

## **БЫСТРОСХОДЯЩИЙСЯ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ИЗГИБА ТОНКОЙ ПЛАСТИНЫ С ГРАНИЦЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

**Д.С. Рычков, Д.А. Маракасов**

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

Для моделирования атмосферных оптических систем с адаптивным контуром, включающим в себя гибкое зеркало, необходимо рассчитывать поверхность зеркала по заданным нагрузкам на актюаторах. В случае, когда допустимо статическое приближение, решение этой задачи для круглой тонкой пластины сводится к решению неоднородного дифференциального уравнения четвертого порядка методом функций Грина. Конструкции существующих гибких зеркал предполагают наличие нескольких элементов, составляющих полную поверхность зеркала, – это либо модели с пьезоэлементами, либо секционные модели, в которых каждый элемент зеркала имеет несколько актюаторов (точек приложения сил), при помощи которых задаются изгибы отдельных элементов. В связи с этим представляет интерес обобщение ранее разработанного алгоритма [1] на элементы гибкого зеркала более сложной формы. В докладе представлены быстросходящийся алгоритм расчета изгиба тонкой пластины на примере кольца, а также результаты расчетов поверхности модельных элементов.

1. Маракасов Д.А., Рычков Д.С. Расчет изгиба круглой тонкой пластины с защемленным краем // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 10. С. 863–867.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

Л.О. Герасимова, И.Н. Смалихо

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

На основе предложенного алгоритма численного моделирования распространения импульсного лазерного излучения короткой длительности в турбулентной атмосфере, рассмотрены примеры работы алгоритма и проведены исследования распространения импульсного когерентного пространственно ограниченного пучка и плоской волны в турбулентной атмосфере. Показано, что в режиме сильной оптической турбулентности относительная дисперсия флуктуаций плотности энергии импульсного излучения фемтосекундной длительности становится существенно меньше относительной дисперсии интенсивности непрерывного излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 13-02-98016-р\_сибирь.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОГНЕННОГО СМЕРЧА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

М.В. Шерстобитов, Р.Ш. Цвык, В.М. Сазанович

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

При обширных природных и техногенных пожарах иногда возникают огненные смерчи (ОС). ОС характеризуются колоннообразным вытягиванием пламени захватывающим как часть площади горения, так и целиком очаг пожара. Актуальной задачей является исследование физических параметров для понимания такого поведения пламени. Проведение экспериментов с ОС дорого и опасно, поэтому применяется математическое и физическое моделирование этого явления. В представленном исследовании модельный огненный смерч (МОС) формировался путем закрутки внешнего воздушного потока вокруг неподвижного источника пламени. Для исследования МОС были разработаны методы: лазерного просвечивания и регистрации собственного излучения МОС. В результате определен ряд физических параметров МОС: флуктуационные свойства горящего объема, частота вращения. Обнаружено различие в ИК-спектрах пламени без закрутки окружающего воздуха и пламени МОС.

## ОБ УРОВНЕ НАСЫЩЕНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ВИДИМОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА ТРАССАХ ДЛИНОЙ 130, 390 И 964 м В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ СО СНЕГОПАДОМ ( $\lambda = 0,63$ мкм)

Н.А. Вострецов, А.Ф. Жуков

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

Проведены измерения флуктуаций излучения видимого узкого расходящегося лазерного пучка на трассах длиной 130, 390 ( $3 \times 130$ ) и 964 м в приземной атмосфере со снегопадом. Длина волны  $\lambda = 0,63$  мкм. Приемник был установлен на оптической оси пучка. Диаметр приемника равен 0,1 мм. Установлено следующие. Флуктуации излучения лазерного пучка с ростом коэффициента рассеяния вначале растут, а затем не увеличиваются (насыщаются). Уровень (величина) насыщения не зависит от длины трассы. Флуктуации увеличиваются при всех коэффициентах рассеяния с ростом максимального размера снежинок. Величина коэффициента рассеяния, при котором начинается насыщение, уменьшается с ростом длины трассы.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДАВЛЕНИЯХ

Д.А. Маракасов, Н.Г. Мельников, В.М. Сазанович, Р.Ш. Цвык, А.Н. Шестернин

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

Представлены результаты экспериментов по исследованию акустического поля, генерируемого сверхзвуковой затопленной струей на аэродинамической трубе ВСУ ИТПМ СО РАН. Затопленная струя (выходящее в открытое пространство) формировалась соплом Витошинского и была направлена вертикально вверх в доста-

точно большое помещение. Измерения выполнены 10 микрофонами с полосой измерения от 20 Гц до 20 кГц, которые размещены на кольце радиусом 265 мм, которое перемещалось по вертикали. Регистрация информации производилась 14-разрядным АЦП USB300 частотой опроса 250 кГц на канал. Микрофоны установлены на радиусе 235 мм (через 36°) симметрично относительно оси струи. Рассматриваются временные спектры акустического поля, форма поверхности фазового фронта при отношении давления в форкамере (на входе в сопло) к давлению в наружном воздухе в струе от 1,7 (дозвуковой режим) до 7 на расстояниях от сопла от 45 до 355 мм вдоль оси струи.

## МАКЕТ ТУРБУЛЕНТНОГО ДВУХКАНАЛЬНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО ЛИДАРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УСИЛЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

И.А. Разенков, В.А. Банах, А.И. Надеев, Е.В. Гордеев

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

На основе импульсного волоконного лазера (532 нм) и 40 см афокального телескопа построен двухканальный аэрозольный микроимпульсный лидар по схеме с расширением пучка через приемный телескоп. Размер передающей и приемных апертур составляет 45 мм, т.е. близок к размеру первой зоны Френеля для дистанции 2 км. Это необходимо, чтобы система была в состоянии регистрировать усиление обратного рассеяния (УОР). Расстояние между приемными апертурами равно 250 мм, при этом одна приемная апертура точно совпадает с передающей. Второй приемный канал необходим для нормировки первого канала, чтобы устранить влияния флуктуаций коэффициента аэрозольного рассеяния в атмосфере.

В докладе обсуждается конструкция прямо-передатчика и проблема калибровки. Калибровка имеет две составляющих: 1) учет последствий фотоприемников (ФЭУ), которые ослепляются в момент выстрела; 2) учет взаимной чувствительности приемных каналов с помощью отношения сигналов при зондировании в чистой однородной атмосфере и при слабом уровне турбулентности. Конструкция макета предусматривает непрерывное зондирование в автоматическом режиме при работе по горизонтальной и наклонной трассам. В настоящее время высокая частота посылок лазерных импульсов (50 КГц) не позволяет зондировать вверх. Поэтому, чтобы исключить наложение соседних эхо-сигналов, приходится направлять луч лазера на высокое здание, расположенное на удалении 2 км.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЗОНДИРОВАНИЯ МАКЕТОМ ТУРБУЛЕНТНОГО ЛИДАРА

И.А. Разенков, В.А. Банах, Е.В. Гордеев

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

Созданный в Институте оптики атмосферы макет лидара, работающий на эффекте усиления обратного рассеяния (УОР), с конца августа по настоящее время непрерывно производит зондирование и запись профилей сигналов с 10-минутным интервалом накопления. Макет можно отнести к классу микроимпульсных лидаров, работающих в режиме счета фотонов. Система пока работает по горизонтальной трассе. Полученные более чем за месяц данные были проанализированы. Был рассчитан закон распределения коэффициента усиления по более 5000 значениям. Максимум распределения соответствует значению единица (слабый уровень или отсутствие атмосферной турбулентности). Если принять во внимание то, что прибор имеет 5% погрешность, тогда можно заключить, что примерно в 50% случаев в сентябре 2014 г. в г. Томске мы имели дело со слабой турбулентностью. Надо отметить, что были лишь единичные случаи, когда коэффициент усиления приближался к значению 2. В 95% случаев коэффициент усиления был ниже значения 1,4.

В конце сентября – начале октября наблюдалось повышение уровня интенсивности турбулентности. Для девятидневного интервала была рассчитана скорость изменения коэффициента усиления для начального участка трассы до 1 км и для конца трассы зондирования от 1,45 до 1,85 км. В дни с максимальным уровнем турбулентности со 2 по 4 октября скорость возрастания коэффициента усиления на начальном участке трассы составляла  $0,2 \text{ км}^{-1}$ , а на конце трассы доходила до  $0,6 \text{ км}^{-1}$ . Кроме того, был проанализирован вклад различных участков трассы в значение коэффициента усиления. Оказалось, что вклад первого километра трассы составляет примерно 30% и по мере удаления от лидара вклад в УОР постепенно нарастает.

## РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ДАННЫХ ТУРБУЛЕНТНОГО ЛИДАРА И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ

И.А. Разенков, С.Л. Одинцов

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

С конца лета 2014 г. в г. Томске непрерывно работает макет турбулентного (аэрозольного) лидара с большими приемо-передающими апертурами. Единственный передающий канал и один приемный канал точно совпадают для того, чтобы зарегистрировать факт появления дополнительного сигнала за счет усиления обратного рассеяния (УОР). Второй приемный канал необходим для нормировки первого канала, чтобы исключить влияние изменчивости концентрации атмосферного аэрозоля. Отношение сигналов обоих каналов представляет коэффициент УОР, который зависит от характера и интенсивности атмосферной турбулентности. Анализ результатов одновременной работы лидара, работавшего по горизонтальной трассе (2 км), и ультразвуковой метеостанции «Метео-2», расположенной на крыше здания (17 м) рядом с лидаром, показал, что имеет место хорошо выраженный суточный ход коэффициента УОР, связанный, в частности, с вертикальным турбулентным потоком тепла. Утром и вечером, когда поток тепла меняет направление (знак) и близок к нулю, величина УОР понижается до минимального значения, равного единице. При положительном потоке тепла днем и при отрицательном ночью коэффициент УОР повышается, причем, его максимальное значение ночью может превышать дневное. Можно говорить о «ночном» и «дневном» поведении коэффициента УОР, причем, его «реакция» на изменение потока тепла ночью примерно в 12 раз больше, чем днем. В докладе также приводятся временные ряды и корреляционные графики коэффициента УОР и других характеристик турбулентности.

## ТРАНСФОРМАЦИЯ СПЕКТРОВ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

Д.А. Маракасов, Н.Г. Мельников, В.М. Сазанович, Р.Ш. Цвык, А.Н. Шестернин

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия, mda@iao.ru*

Спектральный состав флуктуаций плотности воздуха в сверхзвуковой струе претерпевает значительные изменения по мере развития турбулентных процессов при удалении от сопла. Происходит изменение амплитуды и формы спектра, а также формируются низкочастотные структуры, соответствующие резонансу акустических волн на элементах струи, так называемых бочках. В докладе представлен анализ результатов экспериментов по лазерному просвечиванию затопленной сверхзвуковой струи, на аэродинамической трубе ВСУ Института теоретической и прикладной механики СО РАН. Исследуется трансформация спектров принимаемой мощности лазерного излучения, просвечивающего начальный участок струи, с увеличением расстояния от сопла при различных значениях давления в форкамере. Рассмотрена возможность восстановления радиальной зависимости спектров показателя преломления на основе данных лазерного просвечивания, при использовании дополнительной информации о пространственном распределении средней скорости течения.

## АНАЛИЗ ДРОЖАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕКОГЕРЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ, ВЫЗВАННОГО ВЕТРОВЫМ ПЕРЕНОСОМ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ОПТИЧЕСКОЙ ТРАССЕ

Д.А. Маракасов

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия, mda@iao.ru*

Флуктуации показателя преломления в атмосфере оказывают заметное влияние на формирование изображения некогерентного источника в приемном телескопе. При достаточно малых размерах источника это влияние проявляется, в основном, в размытии изображения и смещении его центра тяжести. В докладе представлены результаты корреляционного анализа дрожания изображений пары разнесенных некогерентных источников. Получены соотношения, связывающие смещение энергетического центра тяжести видеоизображения некогерентного источника с распределением турбулентных неоднородностей плотности воздуха на трассе. Демонстрируется возможность определения интегральной скорости поперечного ветра по временной корреляционной функции смещений энергетического центра тяжести изображений одного источника в двух приемниках, разнесенных поперек оптической оси, и двух источников в одном приемном устройстве.

## РЕЗУЛЬТАТЫ АТМОСФЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО КОМПЕНСАЦИИ НАЧАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

В.В. Кусков<sup>1,2</sup>, Р.Ш. Цвык<sup>1</sup>, В.М. Сазанович<sup>1</sup>, А.Н. Шестернин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия, vasyakuskov@gmail.com

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Представлены результаты атмосферных экспериментов по компенсации начальных искажений волнового фронта (ВФ) лазерного пучка с использованием сигнала отраженного от экрана для управления адаптивным зеркалом в соосной схеме.

В работах [1, 2] выполнены теоретические и численные исследования возможности компенсации аберраций начального волнового фронта частично когерентных пучков ЛИ по обратному атмосферному рассеянию. В [3] представлены результаты лабораторных экспериментов по компенсации начальных аберраций волнового фронта пучка с использованием стохастического алгоритма параллельного градиентного спуска (САПГС).

1. Банах В.А., Жмылевский В.В., Игнатъев А.Б., Морозов В.В., Смалихо И.Н. Коллимация начального волнового фронта частично когерентного светового пучка по сигналу обратного рассеяния // Оптика и спектроскопия. 2010. Т. 108, № 1. С. 113–122.
2. Банах В.А., Жмылевский В.В., Игнатъев А.Б., Морозов В.В., Смалихо И.Н. Компенсация аберрационных искажений волнового фронта импульсного лазерного пучка по сигналу обратного рассеяния // Оптика и спектроскопия. 2011. Т. 111, № 3. С. 488–496.
3. Банах В.А., Ларичев А.В., Разенков И.А., Шестернин А.Н. Апробация стохастического алгоритма параллельного градиентного спуска в лабораторных экспериментах // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 12. С. 1099–1104.

## УСТАНОВКА ДЛЯ КАЛИБРОВКИ УГЛА ПОВОРОТА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЗЕРКАЛА

В.В. Кусков<sup>1,2</sup>, В.М. Сазанович<sup>1</sup>, А.Н. Шестернин<sup>1</sup>, Р.Ш. Цвык<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия, vasyakuskov@gmail.com

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Представлена установка для калибровки угла поворота зеркала, управляемого шаговыми двигателями от компьютера. В установке формируется коллимированный лазерный пучок, который отражается от поворотного зеркала и направляется в приемную оптическую систему. Приемная система включает объектив диаметром 150 мм, фокусом 1600 мм и окуляр. Общая длина фокуса системы 7 м. В плоскости изображения пучка установлена ПЗС матрица с размерами элемента 8 мкм. Координаты положения пучка рассчитываются по положению центра тяжести. Перед окуляром установлен светоделительный кубик, с помощью которого в оптическую систему вводится освещенная лампочкой мира с шагом штрихов 0,1 мм. Мира установлена таким образом, что ее изображение совпадает с изображением лазерного пучка, что позволяет рассчитать увеличение оптической системы и, как следствие, перейти к угловым величинам.

На этой же установке выполнены исследования по компенсации смещения центра тяжести пучка от оси оптической системы моделированием на ПЗС работы квадрантного фотодетектора и управлением от компьютера. Такая методика используется в адаптивных системах.

## ОДНОВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ БОКОВОГО ВЕТРА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ И ИЗ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, А.П. Ростов

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

В оптических методах измерения скорости ветра путем лазерного просвечивания атмосферы информативной характеристикой являются амплитудно-фазовые искажения параметров зондирующего излучения, обусловленные пространственно-временными турбулентными флуктуациями показателя преломления воздуха.

При реализации метода регистрируются временные флуктуации сигналов и делаются оценки их пространственных перемещений под воздействием ветрового переноса. Метод просвечивания требует размещения источника и приемника на противоположных концах оптической трассы и подразумевает процедуру их взаимного наведения. Это делает его недостаточно оперативным при измерениях интегрального в заданном направлении ветра. Для когерентного лазерного излучения метод относительно просто реализуем с применением взаимного корреляционного анализа сигналов, однако имеет ограничения на длину измерительной трассы в атмосфере порядка нескольких сотен метров (условия слабых флуктуаций интенсивности).

В работе развивается аналогичный подход для анализа излучения рассеянного на природных или искусственных топографических объектах в условиях естественного дневного освещения с целью оценки ветровых характеристик. Метод заключается в формировании некогерентных изображений и анализе их искажений вызванных атмосферной турбулентностью между объектом и плоскостью наблюдения.

Проведено сравнение одновременных оценок интегрального поперечного ветра активным и пассивным методом на одной и той же измерительной трассе. Рассматриваются возможности пассивного оптического профилирования ветра на основе бинокулярного подхода к спектрально-корреляционным алгоритмам анализа искажений изображений удаленных объектов.

Оценки скорости ветра на основе проведенных оптических измерений сравниваются с независимыми данными акустических датчиков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проекты № 13-05-00320 и 12-05-00332-а.

## **ИЗМЕРЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЛАМЕНИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ТЕРМОГРАФИИ В РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДИАПАЗОНАХ**

**Е.Л. Лобода<sup>1</sup>, В.В. Рейно<sup>2</sup>, М.В. Агафонцев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*

Представлены результаты экспериментальных исследований спектральных характеристик пламени, образующегося при горении горючих материалов, с применением методов термографии. Приводится анализ спектра изменения температуры в пламени для следующих горючих материалов: спирт, пропан-бутановая смесь, бензин, керосин, растительные горючие материалы (березовые, сосновые и кедровые дрова, опад хвой сосны, кедр и полевые горючие материалы). На основании анализа полученного спектра делается вывод о выборе подходящих спектральных интервалов для измерения полей температуры в пламени и для регистрации высокотемпературных объектов, экранированных слоев пламени. Так же были выявлены характерные пульсации температуры для разных видов исследуемых горючих материалов, связанные с пространственной структурой течения в пламени продуктов горения и степенью турбулентности высокотемпературной среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-01-00211.

# **КРУГЛЫЙ СТОЛ «АТМОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ АТМОСФЕРА–ВОДНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ–БИОТА» (руководитель Сакерин С.М.)**

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЛКО- И ГРУБОДИСПЕРСНОЙ КОМПОНЕНТ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ В АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

**С.М. Сакерин, Д.М. Кабанов**

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

При моделировании пространственного распределения климатических характеристик обычно используют их представление широтными зависимостями или деление на пояса. В более сложных случаях районирование проводится на основе учета природных особенностей местности или реальных значений характеристик. Применительно к пространственному распределению аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы, на основе спутниковых данных, уже показывалось [1, 2], что над территорией Сибири и Урала она убывает в северном направлении. Вместе с тем, АОТ хорошо кластеризуется на 4 региона по трем «признакам» – средний уровень, годовой ход и взаимосвязь вариаций АОТ.

В представленном докладе приводятся оценки широтной зависимости мелко- и грубодисперсной компонент АОТ в азиатской части России по данным наблюдений шести станций сети AERONET, а также статистические характеристики трехпараметрического представления спектральных АОТ для четырех регионов («Арктика», «Урал», «Сибирь», «Приморье») в теплый период.

Работа выполнена при финансовой поддержке партнерского проекта СО РАН № 25.

1. Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М., Поддубный В.А., Лужецкая А.П. 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.
2. Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М. Особенности пространственного распределения аэрозольной оптической толщи атмосферы в азиатской части России // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 484–490.

## **О МЕТОДИКАХ ОЦЕНКИ МЕЛКО- И ГРУБОДИСПЕРСНЫХ КОМПОНЕНТ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

**С.М. Сакерин, Д.М. Кабанов**

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

Известная формула Ангстрема хорошо описывает спектральную зависимость аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в видимой области спектра, но становится непригодной в более широком диапазоне – до 2 или 4 мкм. В этом случае, более подходящим является трехпараметрическое представление АОТ с предварительным разделением вклада мелко- и грубодисперсного аэрозоля. Эмпирический подход определения их вклада требует измерений в ИК-диапазоне [1], что не всегда возможно. В докладе рассматриваются возможности применения трех расчетных методик оценки мелко- и грубодисперсных компонент АОТ по данным измерений солнечной радиации в области спектра 0,34–1 мкм: а) методика O'Neill [2] (*spectral deconvolution algorithm*), основанная на анализе кривизны спектрального хода АОТ; б) методика, основанная на взаимосвязи АОТ

с объемными концентрациями аэрозоля, восстановленными по данным AERONET наблюдений в безоблачных условиях; в) новая регрессионная методика с использованием параметров формулы Ангстрема.

Работа выполнена при поддержке партнерского проекта СО РАН № 25 и проекта 23.1 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 23.

1. *Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России* // Под общей ред. С.М. Сакерина. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. 484 с.
2. *O'Neill N.T., Eck T.F., Smirnov A. et al. Spectral discrimination of coarse and fine mode optical depth* // J. Geophys. Res. D. 2003. V. 108, N 17. P. 4559–4573. DOI: 10.1029/2002JD002975.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕЛКО- И ГРУБОДИСПЕРСНЫХ КОМПОНЕНТ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ В МОРСКИХ И ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ

Д.М. Кабанов, С.М. Сакерин

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

Аэрозольная оптическая толщина (АОТ) атмосферы является результатом совокупного действия мелко- и грубодисперсной фракций аэрозоля, которые отличаются спектральным ослаблением радиации (степенной спад и нейтральный ход), природой происхождения и характером изменчивости. Измерения АОТ в ИК-диапазоне спектра позволяют достаточно просто разделить оптический вклад двух основных фракций аэрозоля и анализировать их отдельно (подробнее см. [1, 2]). В докладе обсуждаются особенности пространственного распределения двух компонент АОТ в морских и полярных районах (Атлантика, Арктика и Антарктика, Каспийское и Дальневосточные моря) в сопоставлении с аналогичными данными в фоновом районе континента (Томск). Кроме двух компонент АОТ, для различных районов приводятся статистические характеристики трех параметров, с помощью которых описываются спектральный ход АОТ в области спектра 0,3–4 мкм.

Работа выполнена при поддержке проекта 23.1 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 23 и партнерского проекта СО РАН № 25.

1. *Sakerin S.M., Kabanov D.M., Smirnov A.V., Holben B.N. Aerosol optical depth of the atmosphere over ocean in the wavelength range 0.37–4 μm* // International J. Remote Sensing 2008. V. 29, iss. 9. P. 2519–2547. DOI: 10.1080/01431160701767492.
2. *Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России* // Под общей ред. С.М. Сакерина. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. 484 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТА «ГОРОД–ФОН»

А.А. Шинкаренко<sup>1</sup>, В.А. Поддубный<sup>1</sup>, Ю.И. Маркелов<sup>1</sup>, О.П. Стукова<sup>2</sup>, К.Г. Грибанов<sup>2</sup>, В.И. Захаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, aashink@yandex.ru*

<sup>2</sup>*УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

Тенденция к росту городского населения требует пристального изучения вклада урбанизированных центров в эмиссию парниковых газов. Для выделения вклада традиционно используют сравнительные измерения. Были проведены измерения в Екатеринбурге на урбанизированной территории вдали от промышленных площадок. В качестве фоновой площадки была выбрана территория Коуровской Астрономической Обсерватории, расположенной в 70 км от Екатеринбурга. Параллельные измерения проводились на двух приборах (газоанализатор Picarro-G2401 с технологией CRDS). Измерялись концентрации таких газов как CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>O, параллельно шла фиксация метеопараметров (температура воздуха, скорость и направление ветра, давление, влажность). Были накоплены массивы данных, состоящих из показателей за каждые 5 сек измерений в летний сезон. Перед началом эксперимента приборы прошли интеркалибровку в течение недели на фоновой площадке. Обработка измерений проводилась в библиотеке Pandas.

Сравнительный анализ результатов измерений парниковых газов с учетом влияния метеорологических факторов позволил оценить вклад антропогенных источников в уровни загрязнения атмосферы парниковыми газами.



## ПОЖАРЫ В СИБИРИ И НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ: ВКЛАД ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ СИБИРИ

А.А. Виноградова<sup>1</sup>, А.А. Романовская<sup>2</sup>, Н.С. Смирнов<sup>2</sup>, В.Н. Коротков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия, [anvinograd@yandex.ru](mailto:anvinograd@yandex.ru)

<sup>2</sup>Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, г. Москва, Россия

Выполнены оценки выбросов черного углерода от природных лесных пожаров на территории Сибири и Дальнего Востока за период 2000–2014 гг. Учитывается статистика различных типов пожаров [1] (верховые, низовые, на нелесных и непокрытых лесом землях), их сезонные и межгодовые вариации. Эмиссии черного углерода (black carbon – BC) оценены с использованием коэффициентов из [2] для разных пожаров по федеральным округам. Средняя суммарная эмиссия черного углерода от природных пожаров на азиатской территории России составила 59,3 тыс. т/год. Построены пространственные распределения средней за рассматриваемый период годовой эмиссии BC – на сетке ( $1 \times 1^\circ$ ). Используя расчеты [3] функции чувствительности к источникам примесей, переносимых в атмосфере на субмикронных аэрозолях (антропогенные тяжелые металлы, BC и др.), оценены вклады природных пожаров в содержание BC в атмосфере, а также потоки BC на поверхность, в трех районах азиатского побережья Северного Ледовитого океана. Проведено сравнение вкладов антропогенных источников BC [3] и пожаров в Российской Арктике.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, гранты № 14-05-00059\_а и 14-05-93089 Норв\_а.

1. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства РФ (Рослесхоз). URL: <http://www.aviales.ru/>
2. Akagi S.K. et al. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11. P. 4039–4072.
3. Виноградова А.А. Антропогенное загрязнение окружающей среды арктических заповедников через атмосферу: пространственные и сезонные вариации // Исследование Земли из космоса. 2014. (В печати).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФЛЮИД-ЛОКАЦИИ АТМОСФЕРЫ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ПОТОКОВ ТОНКОДИСПЕРСНОГО АЭРОЗОЛЯ

Е.С. Дубинкина, В.А. Поддубный

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Приведены оценки средних за 2010 г. потоков тропосферного тонкодисперсного аэрозоля в регионе Среднего Урала, проходящих через северный полярный круг и меридиан вблизи Уральских гор. Среднее трехмерное поле концентраций тонкодисперсного аэрозоля в области моделирования получено с помощью модифицированного метода флюид-локации атмосферы по результатам фотометрических измерений AERONET. Для расчета потоков использовались поля скоростей ветра за период 2010 г., предоставленные Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF).

Обсуждаются особенности переноса аэрозоля из Европы в Азию, а так же переноса через северный полярный круг за 2010 г. На основе полей скоростей ветра анализируется изменчивость потоков аэрозоля во времени.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-С-2-1017.

## ПРОСТАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ СВЯЗИ РАДИАЦИОННОГО ФОРСИНГА С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

А.П. Лужецкая<sup>1</sup>, В.А. Поддубный<sup>1</sup>, Т.В. Ципуштанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, [anp@ecko.uran.ru](mailto:anp@ecko.uran.ru)

<sup>2</sup>УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

С использованием различных радиационно-аэрозольных характеристик атмосферы, доступных для анализа на сайте AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>) для пункта мониторинга, расположенного в окрестности Екатеринбурга (Средний Урал), разработана нелинейная полумпирическая модель оценки коротковолновой со-

ставляющей прямого радиационного форсинга аэрозоля (РФА). Предлагаемая нелинейная полуэмпирическая модель оценки РФА основана на известных аналитических решениях простой задачи «рассеяния–поглощения» излучения в тонком аэрозольном слое атмосферы. Проведено сравнение с линейными статистическими моделями. Коэффициенты детерминации нелинейной многофакторной модели равны 0,74 и 0,89 на нижней и верхней границе атмосферы соответственно, что существенно выше, чем в однофакторной линейной модели РФА-АОТ. По сравнению с многофакторными линейными регрессионными моделями достоинством предложенной модели является физическая корректность в предельном случае чистой атмосферы  $АОТ \rightarrow 0$ .

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-С-2-1017.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ оз. БАЙКАЛ ЛЕТОМ 2014 г.

С.А. Нагулаев<sup>1</sup>, Г.С. Жамсуева<sup>1</sup>, А.С. Заяханов<sup>1</sup>, Ю.С. Балин<sup>2</sup>, Г.П. Коханенко<sup>2</sup>, И.Э. Пеннер<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, *Lmza@mail.ru*

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. Зуева В.Е. СО РАН, г. Томск, Россия

Представлены результаты количественного анализа трансформации спектральной зависимости аэрозольной оптической толщи и коэффициента обратного аэрозольного рассеяния, полученных в ходе экспериментов на юго-восточном побережье оз. Байкал с помощью солнечного фотометра «SP-9» и аэрозольного сканирующего лидара «ЛЮЗА-М2». Анализируются влияние вертикальной структуры распределения атмосферного аэрозоля на вариации спектральных характеристик аэрозольной оптической толщи в различных погодных условиях и в условиях дымовых ситуаций, наблюдавшихся в период наблюдений (пожары).

Работа выполнена при финансовой поддержке партнерского интеграционного проекта СО РАН № 25, междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 8 и проекта РФФИ (грант № 12-05-98055-р\_сибирь\_a).

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХТОЧЕЧНЫХ «ГОРОД–ФОН» ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭРОЗОЛЯ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ ЛЕТОМ 2014 г.

А.П. Лужецкая<sup>1</sup>, В.А. Поддубный<sup>1</sup>, Ю.И. Маркелов<sup>1</sup>, Е.С. Дубинкина<sup>1</sup>,  
В.В. Польшкин<sup>2</sup>, С.М. Сакерин<sup>2</sup>, Д.М. Кабанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, *anp@esko.uran.ru*

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. Зуева В.Е. СО РАН, г. Томск, Россия

Представлены данные и проводится сравнительный анализ аэрозольных характеристик атмосферы, выполненных на Среднем Урале в городских и фоновых условиях в ходе комплексного эксперимента в июле–августе 2014 г. Выполнены спектральные измерения аэрозольной оптической толщи с помощью трех многоканальных солнечных фотометров: стационарных CIMEL CE318 и SP-9, портативного SPM-006. В приземном слое атмосферы измерялись счетная концентрация частиц и распределения частиц по размерам в диапазоне 0,3–5 мкм по диаметру; массовая концентрация поглощающего аэрозоля («сажи»). Как городские, так и фоновые измерения характеристик аэрозоля сопровождалось подробными измерениями метеорологических параметров. Анализируются статистические связи между параметрами аэрозоля в столбе атмосферы (АОТ) и аэрозольными характеристиками приземного слоя воздуха. Полученные в ходе комплексного эксперимента данные сопоставляются с результатами долговременных парных «город–фон» фотометрических измерений за период 2010–2014 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-С-2-1017 и Партнерского интеграционного проекта СО РАН № 25.

## **АНАЛИЗ АЭРОЗОЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ И ВСЕЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ НА УПС «ПРОФЕССОР ХЛЮСТИН»**

**К.А. Шмирко<sup>1</sup>, А.А. Бобриков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия*

<sup>2</sup>*МГУ им адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия, rostok661@mail.ru*

В условиях освоения северных регионов и нарастания климатических изменений, становится актуальным изучение атмосферных условий в арктическом регионе, который наиболее чувствителен к изменениям в радиационном балансе планеты. Данное исследование сосредоточено на аэрозоле, как на одном из важнейших и малоизученных компонентов климатической системы. В основе работы лежат данные, полученные в ходе арктической экспедиции на УПС «Профессор Хлюстин» в августе 2013 г. при помощи счетчика частиц AZ-10, лидара и малогабаритного фотометра SPM.

Целью работы является исследование изменчивости свойств атмосферного аэрозоля на акватории северо-западной части Тихого океана и восточной Арктики. В ходе работ были проанализированы пространственно-временной ход микрофизических характеристик аэрозоля в приземном слое (концентрация субмикронной и грубодисперсной фракций) совместно с метеорологическими характеристиками. Предложено описание динамики концентрации аэрозольных частиц на основе метеорологических характеристик. Обнаружено существенное увеличение относительной роли грубодисперсной фракции в Арктике. Проанализирован широтный ход высоты приземного аэрозоля высотой пограничного слоя атмосферы и данными солнечной фотометрии (аэрозольной оптической толщина, показатель Ангстрёма).

## **АНАЛИЗ ШИРОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЫСОТЫ ППС, ОПРЕДЕЛЕННОЙ РАЗНЫМИ ИСТРУМЕНТАМИ, В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ НА УПС «ПРОФЕССОР ХЛЮСТИН»**

**К.А. Шмирко<sup>1</sup>, А.А. Бобриков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия*

<sup>2</sup>*МГУ им адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, Россия, rostok661@mail.ru*

Данное исследование сосредоточено на изучении динамики высоты планетарного пограничного слоя (ППС), самой динамичной части атмосферы, именно здесь происходят основные процессы формирования погоды, а также осуществляется обмен энергией между землей и верхними слоями атмосферы. В основе работы лежат данные лидарных измерений, что были получены в ходе арктической экспедиции на УПС «Профессор Хлюстин» в августе 2013 г., результаты спутникового зондирования и данные реанализа полей метеорологических величин (Европейский центра краткосрочных прогнозов погоды). Цель работы заключается в определении высоты погранслоя атмосферы вдоль маршрута судна, получение ее широтных вариаций, а также развитие методик определения высоты ППС по данным спутника. В работе представлены результаты расчетов высоты ППС исходя из данных лидарного зондирования, измерений спутниковым лидаром CALIOP, а также из данных реанализа (профили температуры и скорости ветра). В широтном распределении высоты ППС была выявлена периодическая закономерность. Сначала высота ППС убывает с широтой вплоть до 55° с.ш., затем ее тренд меняется на противоположный. Аналогичное поведение высоты ППС наблюдается в данных спутника CALIPSO. В случае использования данных реанализа высоты ППС несколько отличается от высот погранслоя, восстановленных по данным спутниковых и корабельных измерений: вариации высоты ППС не сильно выражены, а амплитуда не превышает 200 м. Предложен новый простой способ определения высоты пограничного слоя атмосферы над морской поверхностью по данным спутника CALIPSO.

## МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В ДВУХТОЧЕЧНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ «ГОРОД–ФОН» НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

В.В. Полькин<sup>1</sup>, В.А. Поддубный<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, victor@iao.ru

<sup>2</sup>Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Синхронный двухточечный эксперимент в приземном слое тропосферы по оценке антропогенного влияния города проводился с 07.07.2014 по 08.08.2014 г. В качестве «фоновых» были взяты данные полученные на Коровской астрономической обсерватории (КАО) расположенной к западу от Екатеринбурга. Данные, полученные в Екатеринбурге на крыше Института промышленной экологии (ИПЭ), были отнесены к «городским». В указанных измерительных точках использовались два комплекта однотипной аппаратуры. Комплект представлял собой портативную аэрозольную станцию, состоящую из: фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц АЗ-10, оценивающего счетную  $N_{a03}$  и массовую концентрации  $M_{a03}$  частиц аэрозоля диаметрами  $0,3 \div 5$  мкм; измерителя массовой концентрации  $M_{bc}$  поглощающего вещества («сажи») в субмикронном аэрозоле – SM (разработка ИОА СО РАН) типа аэталометра.

Анализ данных показал, что усредненные значения для всех параметров для городских условий выше, чем для фоновых. Наибольшие различия наблюдаются для массовой концентрации  $M_{bc}$  поглощающего вещества («сажи») в субмикронном аэрозоле достигающие 300%. Вариации всех параметров находились в пределах двух порядков величины, что объясняется главным образом сменой воздушных масс за счет западного переноса в северном полушарии, изменениями скорости ветра и относительной влажности воздуха. В функции распределения частиц по объемам  $dV/dr$  городские условия отличаются от фоновых главным образом повышенными значениями в диапазоне радиусов частиц  $r = 0,15 \div 0,25$  мкм.

Особенность городского суточного нормированного на среднесуточные значения хода параметров проявляется в наличии выраженного максимума в утренние часы 6:00 ÷ 11:00, что объясняется вероятнее всего высокой интенсивностью движения автомобильного транспорта. Наиболее сильно выражен максимум для этих часов у  $M_{bc}$  и концентрации частиц с  $d > 1$  мкм. Самый высокий размах суточных колебаний для абсолютных значений  $M_{bc}$  наблюдается в городских условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Партнерского интеграционного проекта СО РАН № 25 и программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-С-2-1017.

## ОСВЕЩЕННОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В МАЛООБЛАЧНЫХ СИТУАЦИЯХ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.М. Насртдинов, Т.В. Бедарева, Т.Б. Журавлёва, А.В. Аргюшина, Т.Ю. Чеснокова

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

Рассматриваются результаты численного моделирования освещенности земной поверхности в аэрозольно-молекулярной атмосфере в малооблачных ситуациях. Представлен анализ различий освещенности в зависимости от параметров облаков, их расположения относительно приемника и направления распространения прямых солнечных лучей.

Расчеты нисходящих потоков солнечной радиации выполнены в вертикально- и горизонтально-неоднородной атмосфере с использованием развитых нами ранее алгоритмов метода Монте-Карло. Оптические характеристики аэрозоля и облаков задавались согласно модели ОПАС; метеомодель атмосферы соответствовала модели «лето умеренных широт» AFGL.

В условиях безоблачного неба освещенность, при заданных оптических характеристиках атмосферы и однородной ПП зависит только от зенитного угла Солнца. При появлении облака изменение потока *прямого* излучения определяется в первую очередь геометрическими факторами: для заданного направления падения прямых солнечных лучей приемник может оказаться в области облачной тени, следствием чего является уменьшение яркости облачного неба по сравнению с безоблачным небом. Потоки *диффузной* радиации формируются под воздействием более сложных закономерностей, определяемых взаимным расположением приемника, Солнца и облаков. Ввиду сильного уменьшения прямого излучения при расположении приемника в зоне тени поток *суммарной* радиации определяется ее диффузной составляющей, а суммарная радиация немонотонно зависит от зенитного угла Солнца.

Обсуждается вопрос о возможности использования радиационных кодов, предназначенные для моделирования освещенности подстилающей поверхности в безоблачном небе, для расчетов потоков излучения в малооблачной атмосфере.

## ГODOVЫЙ ХОД ВЫСОТЫ «ОДНОРОДНОЙ» АЭРОЗОЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ В ВИДИМОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА

В.Н. Ужегов, Д.М. Кабанов, С.М. Сакерин, Ю.А. Пхалагов

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

Представлены результаты одновременных измерений спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления в приземном слое воздуха  $\beta(\lambda)$  и аэрозольной оптической толщи  $\tau(\lambda)$  атмосферы в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,45\text{--}2,2$  мкм. Измерения проводились на восточной окраине г. Томска с января по октябрь в 2012–2013 гг. Из полученных данных были исключены реализации с плотными дымами, наблюдавшиеся летом 2012 г. На основе этих данных рассчитана эффективная высота однородной аэрозольной атмосферы  $H_0(\lambda) = \tau(\lambda)/\beta(\lambda)$ . Исследовался годовой ход величины  $H_0(\lambda)$ . Общий массив насчитывал 1883 реализации, неравномерно распределенный в течение года.

Выявлено три типа спектральной зависимости эффективной высоты однородной аэрозольной атмосферы. В зимний период (январь–февраль, 195 реализаций) зависимость  $H_0(\lambda)$  имеет квазинейтральный характер с небольшими вариациями величины по спектру в пределах 0,7–0,9 км. Весной и особенно летом спектральная зависимость  $H_0(\lambda)$  становится монотонно убывающей с ростом длины волны. В июне–июле (713 реализаций) средние значения  $H_0$  для крайних длин волн 0,45 и 2,2 мкм составляют 2,1 и 0,8 км соответственно. Осенью (сентябрь–октябрь, 178 реализации) как и летом с ростом длины волны величина  $H_0(\lambda)$  убывает, но сами средние значения  $H_0$  становятся существенно ниже 1,1–0,5 км на длинах волн 0,45 и 2,2 мкм.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ГАЗО-АЭРОЗОЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ГОРОД–ФОН» НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

С.М. Сакерин<sup>1</sup>, В.В. Польшин<sup>1</sup>, Д.М. Кабанов<sup>1</sup>, Л.П. Голобокова<sup>2</sup>, В.А. Поддубный<sup>3</sup>,  
Ю.И. Маркелов<sup>3</sup>, А.П. Лужецкая<sup>3</sup>, Е.С. Дубинкина<sup>3</sup>, А.А. Шинкаренко<sup>3</sup>,  
К.Л. Антонов<sup>3</sup>, И.Л. Манжуров<sup>3</sup>, С.А. Береснев<sup>4</sup>, С.Ю. Горда<sup>4</sup>,  
Д.В. Гламазда<sup>4</sup>, К.Г. Грибанов<sup>4</sup>, В.И. Захаров<sup>4</sup>, О.П. Стукова<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*

<sup>3</sup>*Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, basil@ecko.uran.ru*

<sup>4</sup>*УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

Представлено общее описание комплексного эксперимента «город–фон»: Екатеринбург–Коуровка-2014 (КЭГФ-ЕК2014). Обсуждаются следующие вопросы: цели и задачи эксперимента; его участники; приборная база и комплекс измеряемых параметров. Описывается общая схема и условия проведения измерений, включающая интеркалибровку приборов и парные измерения по схеме «город–фон», контрольные измерения. Обсуждаются некоторые предварительные результаты измерений аэрозольных и газовых компонентов атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Партнерского интеграционного проекта СО РАН № 25, а также при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-С-2-1017.

**КРУГЛЫЙ СТОЛ**  
**«ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ**  
**ПРИБАЙКАЛЬЯ НА КАЧЕСТВО АТМОСФЕРЫ**  
**НАД АКВАТОРИЕЙ БАЙКАЛА НА ОСНОВЕ**  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**  
**И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»**  
(руководитель Балин Ю.С.)

**ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОВОГО РЕЖИМА НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ**  
**оз. БАЙКАЛ**

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

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

Для изучения механизмов распространения и возможных путей переноса атмосферных загрязнений в конкретном районе необходимы сведения о местных особенностях ветрового режима.

В работе представлены результаты исследования пространственно-временных изменений направления и скорости ветра на юго-восточном побережье оз. Байкал. Для характеристики ветровых условий юго-восточного побережья оз. Байкал были привлечены и обработаны фондовые данные измерений на ст. Бабушкин за трехлетний период (1995–1998 гг.) и данные измерений за период 1981–1982 гг. на ст. Танхой. Проведено сравнение фондовых данных с результатами натурных измерений метеорологических параметров атмосферы, полученных на научном стационаре ИФМ СО РАН «Боярский». Выявлено, что во все месяцы года на ст. Бабушкин преобладают ветры западного, юго-западного и юго-восточного направлений. Максимальную повторяемость в течение года имеют ветры западного направления, минимальную – южного направления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 4.12, интеграционных проектов СО РАН № 8 и гранта РФФИ № 12-05-98055-р\_сибирь\_a.

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ**  
**АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ ПРИБЕРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ**  
**И АРИДНОЙ ЗОНЫ МОНГОЛИИ (ПУСТЫНЯ ГОБИ)**

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

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

Представлены результаты экспериментальных исследований дисперсного состава атмосферного аэрозоля в разных по природно-климатическим условиям регионах: в регионе оз. Байкал и аридной зоне Монголии – в пустыне Гоби (весна–осень 2013–2014 гг.).

Анализ дисперсного состава атмосферного аэрозоля в регионе оз. Байкал и пустыни Гоби выявил некоторые особенности в распределении и суточных вариациях микродисперсного аэрозоля. Установлено, что общее содержание аэрозоля субмикронной фракции в атмосфере пустыни Гоби, удаленной от антропогенных источников и источников морского аэрозоля более низкое, по сравнению с аэрозолями в атмосфере прибрежной зоны оз. Байкал. Если в атмосфере аридной зоны в спектрах размеров больше представлен почвенный аэрозоль, то в регионе оз. Байкал в спектральном составе присутствуют и аэрозоли нанометрового диапазона размеров, основными источниками которых являются лесные пожары, химические и фотохимические реакции в атмосфере, аэрозоли органического происхождения (пыльца растений, микроорганизмы, бактерии и т.д.).

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 12-05-98055-р\_сибирь\_a, грант № 13-05-92219-Монг\_a), междисциплинарного проекта СО РАН № 8, Программы РАН № 4.

## **ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВАРИАЦИИ ОЗОНА И ДРУГИХ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ ВБЛИЗИ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ оз. БАЙКАЛ**

**А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева, В.В. Цыдыпов, Т.С. Бальжанов, А.В. Стариков**

*Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, Lrf@ipms.bscnet.ru*

Важным фактором, определяющим структуру и динамику метеорологических процессов в Байкальской впадине являются местные циркуляции – бризовые, горно-долинные. Они в значительной мере обуславливают перенос и рассеяние атмосферных примесей. Бризовые ситуации являются обычным явлением вблизи береговой зоны оз. Байкал в теплые сезоны года. Эти явления должны проявляться не только в метеорологических характеристиках, но и в динамике ПКО вблизи береговой зоны оз. Байкал. Для изучения влияния термической стратификации атмосферы на содержание озона и других газовых примесей в условиях бризовых ситуаций проведены специальные измерения их концентраций с использованием 30-метровой высотной мачты на юго-восточном побережье оз. Байкал (ст. Боярск) в августе 2013–2014 гг. на двух высотах: 2 и 20 м над уровнем земли. Одновременно на этих же высотах проводились измерения метеорологических и турбулентных параметров с помощью акустических метеокомплексов АМК-03, «ЭКСМЕТЕО».

В данной работе анализируются результаты экспериментальных исследований суточной динамики приземного озона, окислов азота, диоксида серы на разных высотах. Выявлены особенности высотного распределения озона вблизи береговой зоны оз. Байкал. Отмечено существенное влияние бризовых явлений на динамику ПКО в течении суток.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-05-98055-р\_сибирь\_a), междисциплинарного проекта СО РАН № 8.

## **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ НА ПОБЕРЕЖЬЕ БАЙКАЛА ЛЕТОМ 2013 г.**

**А.В. Стариков, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов**

*Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, Lrf@ipms.bscnet.ru*

Представлены результаты исследования химического состава атмосферных аэрозолей на юго-восточном побережье оз. Байкал в 2013 г. Проведено сравнение с составом аэрозолей, отобранных в предыдущие годы (1998–2001 гг.). Концентрации аэрозолей вблизи оз. Байкал находятся под сильным влиянием как местных и региональных выбросов, так и под влиянием аэрозольной нагрузки при пожарах в других регионах. Так, например, летом 2013 г. при транспортировке дымового аэрозоля с севера Якутии в компонентном составе аэрозолей отмечена высокая доля нитрат-ионов, хлорид-ионов, ионов кальция, магния, образующихся при сжигании биомассы, в то время как основными компонентами аэрозольных частиц в 2001 г. были сульфат-ионы, нитрат-ионы, ионы аммония. Сумма ионов аэрозолей в 2013 г. в среднем составляла  $17 \text{ мкг/м}^3$ , в отдельные эпизоды достигая  $30\text{--}35 \text{ мкг/м}^3$  по сравнению  $3,06$  и  $3,38 \text{ мкг/м}^3$  в 1999 и 2001 г. соответственно. В дни с сильным задымлением повышалась доля компонентов, образующихся вследствие сгорания растительности: нитрат-ионов, ионов кальция, калия относительно средней концентрации за период измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного проекта СО РАН № 8 и проекта РФФИ № 12-05-98055-р\_сибирь\_a.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО И СЛАБОГО РАССЕИВАНИЯ**

**Т.С. Бальжанов, А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева, В.В. Цыдыпов**

*Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, Lrf@ipms.bscnet.ru*

С целью изучения изменчивости содержания малых газовых примесей в атмосфере Байкала в 2013 г. впервые проведены круглосуточные измерения приземного озона, окислов азота, диоксида серы на юго-восточном побережье Байкала (ст. Боярск) в разные сезоны года: весной (апрель–май), летом (июль–август) и осенью (ок-

тябрь) и на восточном побережье (ст. Горячинск) в марте. В среднем концентрации приземного озона весной достигают высоких значений (более  $100 \text{ мкг/м}^3$ ), содержание которого связано в большей степени с погодными и метеорологическими условиями.

Результаты многолетних наблюдений в г. Улан-Удэ показали, что в последние годы наблюдается рост среднегодовых концентраций озона, которые превышают среднесуточную предельно-допустимую концентрацию ( $\text{ПДК} = 30 \text{ мкг/м}^3$ ) за счет возрастающей доли выбросов автотранспорта и увеличения вклада фотохимических процессов генерации озона. Выявлено, что характерной особенностью суточных вариаций приземной концентрации озона в весенние месяцы являются ночные максимумы озона, сравнимые с их максимальными дневными концентрациями. Увеличение приземной концентрации озона в ночные часы, когда отсутствуют условия для генерации озона, в первую очередь связано с поступлением обогащенного озоном воздуха из свободной атмосферы за счет орографических особенностей рельефа г. Улан-Удэ, способствующим развитию горно-долинной циркуляции и стоковых явлений в условиях горной местности.

Работа выполнена при финансовой поддержке междисциплинарного проекта СО РАН № 8 и проекта РФФИ № 12-05-98055-р\_сибирь\_a.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНОК РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА**

**В.В. Пененко, Е.А. Цветова, Э.А. Пьянова**

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

Обсуждаются результаты исследований, выполненных в ИВМиМГ СО РАН по Интеграционному проекту СО РАН № 8 «Оценка влияния антропогенных источников Прибайкалья на качество атмосферы над акваторией Байкала на основе экспериментальных наблюдений и математического моделирования».

В частности, обработаны данные климатической информации более чем за 50-летний период, выявлены главные факторы глобального масштаба и специфика их проявления в Байкальском регионе.

Методами прямого моделирования на основе негидростатической модели атмосферных процессов рассчитаны типичные сценарии формирования мезоклиматов и на их фоне решены задачи распространения примесей от агрегированных источников, расположенных в регионе.

С помощью математических моделей проведена оценка климатически обусловленных рисков загрязнений от природных и антропогенных источников, расположенных в регионе и за его пределами, включая трансграничные переносы. На основе методов математического моделирования с использованием решений прямых и обратных задач переноса примесей и данных наблюдений, полученных в проекте, построены сезонные карты рисков для функционалов качества атмосферы над акваторией озера.

Работы выполнялись при поддержке Интеграционным проектом № 8 СО РАН.

## **НАБЛЮДЕНИЯ ДИНАМИКИ АЭРОЗОЛЬНЫХ СЛОЕВ НА БАЙКАЛЕ С ПОМОЩЬЮ АЭРОЗОЛЬНОГО И ДОПЛЕРОВСКОГО ЛИДАРОВ В 2014 г.**

**Ю.С. Балин, В.А. Банах, М.Г. Клемашева, Г.П. Коханенко, М.М. Новоселов, И.Э. Пеннер,  
Ю.А. Руди, И.Н. Смалихо, А.А. Сухарев, А.В. Фалиц**

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

В августе 2014 г. в районе п. Боярск проводились наблюдения аэрозольной атмосферы с помощью аэрозольно-рамановского лидара ЛОЗА-М2 и 1,5-микронного импульсного когерентного доплеровского лидара Stream Line. В различных синоптических условиях исследовалось поле ветра до высот 1 км и его влияние на стратификацию и динамику аэрозольных слоев в нижней тропосфере.



**ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ТРОПОСФЕРЫ  
НАД АРКТИЧЕСКИМИ РАЙОНАМИ СИБИРИ В ПЕРИОД ПРОВЕДЕНИЯ  
САМОЛЕТНОЙ КОМПАНИИ ЯК-АЭРОСИВ 2014 г.**

**И.Э. Пеннер<sup>1</sup>, М.Ю. Аршинов<sup>1</sup>, Ю.С. Балин<sup>1</sup>, Б.Д. Белан<sup>1</sup>, Г.П. Коханенко<sup>1</sup>, В.С. Козлов<sup>1</sup>, Д.Г. Чернов<sup>1</sup>,  
Gérard Ancellet<sup>2</sup>, Jacques Pelon<sup>2</sup>, Kathy Law<sup>2</sup>, Jean-Daniel Paris<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия, penner@iao.ru*

<sup>2</sup>*UPMC Univ. Paris 06; Univ. Versailles St-Quentin; CNRS/INSU, LATMOS-IPSL, Paris, France,*

<sup>3</sup>*Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement/IPSL, CNRS-CEA-UVSQ, Gif sur Yvette, France*

Радиационно-климатические изменения в арктических регионах Сибири оказывают существенное влияние на климат Арктики. Одним из факторов этих изменений является пространственно-временная изменчивость содержания парниковых газов, аэрозоля и сажи в тропосфере вследствие лесных пожаров и антропогенной эмиссии. Для исследования этих процессов в рамках совместного Российско-Французского проекта YAK-AEROSIV выполнялся цикл полетов самолета-лаборатории ИОА СО РАН ТУ-134 «Оптик» в северных районах Сибири по программе POLARCAT. В полетах 15–17 октября 2014 г. по маршруту Новосибирск – Салехард – Новая Земля – Салехард – Новосибирск наряду с контактными измерениями массовых концентраций аэрозоля и сажи проводилось дистанционное зондирование аэрозольных полей с борта самолета микролидаром CIMEL-CE372 на длине волны 808 нм. По предварительным результатам зондирования для всех маршрутных участков получены пространственные вертикальные разрезы аэрозольных характеристик до высоты 8,5 км. Приводится траекторный анализ транспорта воздушных масс по модели FLEXPART.

## Авторский указатель

<b>А</b>			<b>Д</b>		
Агафонцев М.В.	94	Бунтов Д.В.	32, 47	Давыдов Д.К.	18, 19, 51
Агеев Б.Г.	69	Бурлаков В.Д.	26	Дайбова Е.Б.	21
Адильбаева Т.Е.	67	Буряк Г.А.	15, 16, 20	Данилюк А.Ф.	82
Адмаев О.В.	66, 68, 85	Буцин М.	28	Даценко О.И.	32
Акулова О.Б.	14, 15, 70	Бычков А.Ю.	26	Дейчули В.М.	41
Алёшин Д.В.	58	Бычкова Я.В.	26	Дементьева А.Л.	102
Алтунина Л.К.	18	<b>В</b>		Десятков Б.Д.	33
Андреева И.С.	20	Вайцеховский А.С.	34	Долгий С.И.	26
Антипов О.Л.	38	Валиулин С.В.	29	Домьшева В.М.	14, 24
Антонникова А.А.	30	Васильев М.С.	57	Дубинкина Е.С.	97, 98, 101
Антонов К.Л.	101	Веретенников В.В.	11	Дубцов С.Н.	27, 83
Антохин П.Н.	35, 36, 51	Вернер М.	28	Дудорова Н.В.	61, 62
Антохина О.Ю.	35, 36, 51	Вечканов В.А.	20	Дульцев Ф.Н.	83
Аншиц А.Г.	75	Виноградова А.А.	25, 64, 97	Дульцева Г.Г.	27, 83
Артюшина А.В.	100	Волков Н.В.	42	<b>Е</b>	
Архипов В.А.	71, 82	Волкова Е.В.	59	Елизаров А.И.	79
Аршинов М.А.	23	Воробьёв С.Н.	23	Елисеев А.В.	55
Аршинов М.Ю.	18, 19, 51, 105	Воробьёва И.Г.	16	Емиленко А.С.	7
Афанасьев А.Л.	80, 87, 93	Воронецкая Н.Г.	19, 23	Ерин С.И.	53
Афанасьева А.А.	26	Воронин Б.А.	86	<b>Ж</b>	
<b>Б</b>		Восель С.В.	29	Жамсуева Г.С.	98, 102, 103
Бабченко С.В.	81	Вострецов Н.А.	90	Жарков В.И.	69
Баженов О.Е.	21	<b>Г</b>		Жарова И.К.	82
Бакланов А.М.	74	Гавриленко Т.В.	66	Жирнов А.А.	81
Баландин С.Ф.	73, 84	Галилейский В.П.	79	Жузель Ж.	28
Балин Ю.С.	8, 80, 86, 98, 104, 105	Ганьшин Е.В.	71	Жуков А.Ф.	90
Бальжанов Т.С.	103	Генчень Ван	65	Журавлёв А.А.	38
Банах В.А.	87, 91, 93, 104	Герасимов В.В.	80	Журавлёв П.Л.	58
Бармин В.В.	76	Герасимова Л.О.	89, 90	Журавлёва Т.Б.	7, 100
Барт А.А.	52, 58	Гладких В.А.	48, 49	Жученко Н.А.	63
Башенхаева Н.В.	63	Глазкова А.А.	39	<b>З</b>	
Бедарева Т.В.	7, 100	Гламазда Д.В.	101	Захаренко В.С.	21
Безуглова Н.Н.	37	Голобокова Л.П.	22, 101	Захаров В.И.	28, 44, 96, 101
Белан Б.Д.	19, 23, 35, 36, 51, 61, 62, 105	Головко А.К.	19, 23	Захарова П.В.	39, 64
Белов В.В.	43	Головко В.В.	27	Захарова Т.В.	27
Белокуров Г.М.	47	Голубева Е.Н.	38, 57	Заяханов А.С.	98, 102, 103
Береснев С.А.	101	Гольдин В.Д.	82	Здерева М.Я.	59
Бобриков А.А.	99	Горда С.Ю.	101	Зелик В.Д.	29
Богданова Ю.В.	46	Гордеев Е.В.	91	Зуев В.В.	34, 56, 70, 80
Богословский Н.Н.	53	Горелик А.Г.	71	Зуев С.В.	75, 76, 77
Бондарчук С.С.	82	Горчаков Г.И.	7, 32, 47	Зуева Н.Е.	56
Боровкова О.В.	74	Горячев Б.В.	59	<b>И</b>	
Боровой А.Г.	33, 45	Грибанов К.Г.	28, 96, 101	Иванов В.Г.	14, 22
Бочковский Д.А.	42, 57	Гриднев Ю.В.	26	Ильин С.Н.	55
Букатый В.И.	14, 15, 70	Гурвич А.С.	88		
		Гущин Р.А.	32		

**Авторский указатель**

Илюшин Я.А.	76	<b>Л</b>		Носов В.В.	29
Ипполитов И.И.	84	Лавриненко А.В.	55	Носов Е.В.	29
Исаков А.А.	7, 9	Лагутин А.А.	42	Носова В.В.	63
Истомин В.Л.	27	Лаптева Н.А.	33, 35	<b>О</b>	
<b>К</b>		Леженин А.А.	36	Оболкин В.А.	22, 63
Кабанов Д.М.	4, 74, 95, 96, 98, 101	Лисенко А.А.	39, 75, 81, 82	Огородников В.А.	49, 50
Каблукова Е.Г.	39, 75, 81	Литау В.В.	65	Одинцов С.Л.	48, 49, 92
Кадыгров Е.Н.	71	Лобода Е.Л.	94	Олькин С.Е.	15
Казаков А.В.	68	Ломакина Н.Я.	55	Онищук Н.А.	63
Канев Ф.Ю.	38	Лончакова А.Д.	65	Осипов В.А.	41
Карасёв В.В.	29	Лубенко Д.М.	75	Ошлаков В.Г.	76
Каратаев А.К.	79	Лужецкая А.П.	97, 98, 101	Ошлаков В.К.	75, 81, 82
Каргин Б.А.	39	Лукин В.П.	29	<b>П</b>	
Карпов А.В.	7, 32, 47	Лукин И.П.	72, 87	Павленко А.А.	73
Карпова А.А.	51	Лушников А.А.	13	Панченко М.В.	3, 8, 9, 10, 14, 24
Карташова Е.С.	75, 77	Ляпина Е.Е.	68	Парамонов Л.Е.	12
Кижнер Л.И.	34, 58	<b>М</b>		Певнева Г.С.	19, 23
Кирпотин С.Н.	23	Макаров В.И.	15, 25	Пененко В.В.	48, 104
Клемашева М.Г.	104	Макаров Е.О.	84	Пеннер И.Э.	8, 80, 86, 98, 104, 105
Климешина Т.Е.	43, 50	Макеев А.П.	26	Перемитина Т.О.	19
Климкин А.В.	69	Макеев Н.А.	38	Пестунов Д.А.	14, 24
Князев А.К.	71	Максютов Ш.	18	Петров А.К.	19
Кобзев А.А.	51	Макухин В.Л.	63	Петрова Т.М.	6, 41, 50, 82
Ковалёв А.В.	20	Макушев К.М.	42	Поддубный В.А.	96, 97, 98, 100, 101
Ковтун С.В.	85	Малахова В.В.	25, 38, 57	Покровский О.С.	23
Козин Е.С.	34	Мальшкин С.Б.	8, 19	Полькин В.В.	3, 9, 85, 98, 100, 101
Козлов А.С.	8, 19, 23	Манасыпов Р.М.	23	Полькин Вас.В.	9, 10
Козлов В.С.	3, 5, 8, 9, 10, 31, 32, 105	Манжуров И.Л.	101	Пономарёв Ю.Н.	6, 50, 69, 82
Кокарев Д.В.	79	Маракасов Д.А.	89, 90, 92	Пономарёва Т.Я.	65
Комаров А.И.	77	Маринайте И.И.	63	Попова С.А.	15, 25
Комаров В.С.	55	Маричев В.Н.	42, 57	Поповичева О.Б.	5
Конева В.В.	26	Маркелов Ю.И.	96, 98, 101	Потёмкин В.Л.	22, 63
Коношонкин А.В.	33, 41, 45	Матвиенко Г.Г.	75, 81, 82	Правдин В.Л.	80
Копейкин В.М.	7, 32, 47, 65	Межибор А.М.	60	Прахов А.Н.	4
Коровина Н.В.	30, 31	Мельников Н.Г.	90, 92	Пташник И.В.	45, 50
Коротков В.Н.	97	Меньщикова С.С.	11	Пхалагов Ю.А.	5, 9, 11, 12, 101
Котума А.И.	59	Мецлер Э.А.	73	Пьянова Э.А.	41, 104
Коханенко Г.П.	8, 80, 86, 98, 104, 105	Миллер Е.А.	71	<b>Р</b>	
Кочеткова О.С.	35	Мокрушина О.С.	20	Радионов В.Ф.	4
Крайнева М.В.	57	Монасыров И.	68	Разенков И.А.	91, 92
Красненко Н.П.	75	Мордвин Е.Ю.	42	Рапута В.Ф.	36, 40, 66
Краснов О.А.	18, 51	Морозов А.М.	79	Рахимов Р.Ф.	3, 5, 31, 32
Крицков И.В.	23	Муравлёв Е.В.	30, 31	Резникова И.К.	15
Кудряшова О.Б.	30, 31, 81	<b>Н</b>		Рейно В.В.	94
Кузин В.И.	35	Нагорский П.М.	12, 84	Речицкий М.В.	78
Кузнецова И.Н.	39, 64	Нагуслаев С.А.	98	Решетников А.А.	57
Куйбида Л.В.	19	Надеев А.И.	91	Родимова О.Б.	43, 46
Кулипанов Г.Н.	81	Насрtdинов И.М.	100	Рокотян Н.В.	28, 44
Кураков С.А.	70	Нахтигалова Д.П.	34	Романовская А.А.	97
Курбацкая Л.И.	52	Невзоров А.А.	16	Романовский О.А.	16
Куряк А.Н.	69	Невзоров А.В.	16, 26	Ростов А.П.	74, 80, 87, 88, 93
Кусков В.В.	93	Невзорова И.В.	48, 49		
Кустова Н.В.	33, 45	Некрасов В.В.	71		
Куценогий К.П.	27	Нецветаева О.Г.	63		
		Николашкин С.В.	57		
		Новоселов М.М.	104		

Руди Ю.А.	104	Теплякова Т.В.	16	<b>Ш</b>	
Рычков Д.С.	89	Тептин Г.М.	38	Шабанов А.Н.	33
<b>С</b>		Терентьева М.В.	47, 53	Шалыгина И.Ю.	39, 64
Савельева Е.С.	56	Терпугова С.А.	3, 9	Шамрин А.М.	14
Савичев А.С.	26	Тимкина Е.В.	60	Шапошников А.Н.	71
Савкин Д.Е.	4, 85	Титов А.А.	32	Шахова Т.С.	66
Сазанович В.М.	90, 92, 93	Титов С.В.	57	Шевченко В.П.	23, 25, 26
Сакерин С.М.	4, 74, 95, 96, 98, 101	Титов С.С.	73, 81	Шелехов А.П.	34
Сакирко М.В.	14, 24	Тихонов А.В.	9	Шелехова Е.А.	34
Самойлова С.В.	8, 80	Ткаченко А.М.	86	Шерстобитов М.В.	90
Самохвалов И.В.	33	Токарев В.М.	6, 59	Шестернин А.Н.	90, 92, 93
Сартин С.А.	79	Токарева О.С.	20, 34	Шефер Н.А.	80
Сафатов А.С.	15, 16, 20	Толмачев Г.Н.	23	Шинкаренко А.А.	96, 101
Сваровская Л.И.	18	Торгаев А.В.	29	Шишигин С.А.	17
Свириденков М.А.	4, 7, 78, 80	Точилкина Т.А.	71	Шлычков В.А.	36, 50
Сезько Н.П.	63	Третьякова М.И.	65	Шмаргунов В.П.	3, 8, 9, 10, 12, 31, 32
Селиванова М.А.	20	Трифонов Д.А.	77	Шмирко К.А.	99
Серегин А.О.	32	Тумаков А.Г.	9	Шунайлов П.И.	74
Сересева О.В.	49	Турчинович С.А.	74	<b>Щ</b>	
Симоненков Д.В.	19, 23	<b>У</b>		Щелканов Н.Н.	11, 83
Симонова А.А.	45	Ужегов В.Н.	4, 5, 9, 11, 12, 101	<b>Ю</b>	
Ситников Г.И.	47, 53	Усанина А.С.	71	Юдин М.С.	54
Слуцкий С.Л.	60	Усольцева М.В.	24	<b>Я</b>	
Смалихо И.Н.	88, 90, 104	<b>Ф</b>		Язиков Е.Г.	66, 67
Смирнов Н.С.	97	Фалиц А.В.	87, 104	Яковлева В.С.	84
Смирнов С.В.	84	Филимоненко Е.А.	66, 67	Якунин М.А.	37
Смирнов С.Э.	84	Фирсов К.М.	44	Янковская У.И.	14, 70
Смольников Е.О.	86	Фирстов П.П.	84	Янченко Н.И.	60
Сокоиков В.Г.	69	Фофонов А.В.	18, 51	Ярославцева Т.В.	36, 40, 66
Соколов А.В.	47	<b>Х</b>		Яушева Е.П.	9
Соловьянова Н.А.	20	Ходжер Т.В.	22	Ященко И.Г.	18, 19
Солодов А.А.	6, 41, 50, 82	Хуриганова О.И.	22	<b>А</b>	
Солодов А.М.	6, 41, 50, 82	Хуторов В.Е.	38	Ancellet Gérard	105
Солодовник А.А.	58, 79	Хуторова О.Г.	38	<b>L</b>	
Сорокин И.В.	42	<b>Ц</b>		Law Kathy	105
Стариков А.В.	103	Цветова Е.А.	46, 104	<b>M</b>	
Стариков В.И.	41	Цвык Р.Ш.	90, 92, 93	McPheat R.A.	45
Стародымова Д.П.	25, 26	Ципуштанова Т.В.	97	<b>P</b>	
Старченко А.В.	47, 51, 52, 53, 54, 58	Цыбуля Н.В.	27	Paris Jean-Daniel	105
Степаненко А.А.	84	Цыдыпов В.В.	102, 103	Pelon Jacques	105
Степкина М.Ю.	30	<b>Ч</b>		<b>S</b>	
Стукова О.П.	96, 101	Ченцов А.В.	44	Shine K.P.	45
Суковатов К.Ю.	37	Червяков М.Ю.	59	Smith K.M.	45
Сунграпова И.П.	102	Чернов Д.Г.	4, 5, 8, 10, 105	<b>T</b>	
Суторихин И.А.	14, 15, 70	Чесноков Е.Н.	69	Tsai C.-J.	5
Сухарев А.А.	88, 104	Чеснокова Т.Ю.	44, 100		
<b>Т</b>		Чипанина Е.В.	63		
Таловская А.В.	66, 67, 68	Чуруксаев В.В.	54		
Тарасенков М.В.	43				
Тельминов А.Е.	51				

XXI Рабочая группа  
**АЭРОЗОЛИ СИБИРИ**

Тезисы докладов

---

Подписано к печати 13.11.2014.  
Формат 60×84/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Times New Roman».  
Усл. печ. л. 12,67. Уч.-изд. л. 10,36. Тираж 220 экз.

---

Издательство Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1.  
Тел.: (382-2) 49-23-84; факс: (382-2) 49-20-86  
Тираж отпечатан в типографии ИОА СО РАН.  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1, тел. (382-2) 49-10-93