

**АЭРОЗОЛИ СИБИРИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Сибирское отделение  
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева



Юбилейная  
**XXX** конференция

**ТЕЗИСЫ  
ДОКЛАДОВ**

Томск-2023



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Сибирское отделение  
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева

Юбилейная  
XXX конференция



# АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

---

Тезисы докладов

*Посвящается 300-летию Российской Академии Наук*

Томск  
Издательство ИОА СО РАН  
2023

УДК 551.508; 551.510; 551.521  
ББК 32.86  
А 932

**Аэрозоли Сибири. Юбилейная XXX конференция:** Тезисы докладов. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2023. – 91 с. – 1,7 Мб. — 1 CD-ROM. — 200 экз. — Систем. требования: Intel 1,3 ГГц и выше; дисковод CDRом; мышь; Acrobat Reader 4.0 и выше. — Загл. с экрана. — ISBN 978-5-94458-199-0.

Сборник включает тезисы докладов XXX конференции «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. Праслова

XXX конференция «Аэрозоли Сибири» проводится при поддержке:



АО «НИИ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ»

---

Электронное научное издание.

Подписано к использованию 22.10.2023 г. 1,7 Мб. 1 CD-ROM. 200 экз.

Издательство ИОА СО РАН, 634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1. Тел. 8-3822-492384.

---

# ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОЗОЛЯ

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОПРАВКА НА СКОРОСТЬ РОСТА МАЛЫХ КАПЕЛЬ ВОДЫ

Д.Н. Габышев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет, Россия

*d.n.gabyshev@gcras.ru*

В атмосферном воздухе ниже точки росы конденсационный рост капель ведет к формированию облаков и тумана. Важно лучше понимать этот процесс, и ценностью тут обладают аналитические подходы в силу своей прозрачности. Единицей измерения скорости роста капли является дифференциальное приращение площади ее поверхности в единицу времени. В [1] рассматривается сферическая капля в воздушном пространстве постоянной температуры и влажности без границ. Нетрудно показать, что скорость роста капли отыскивается аналитически точно даже при замене постоянного коэффициента диффузии водяного пара эффективным коэффициентом, учитывающим кинетический режим транспорта молекул. Из решения следует, что скорость роста малых капель корректируется по сравнению с таковой для больших капель. Аналитический характер решения не меняется при учете стефановского течения. Данный подход представляет интерес в диапазоне размеров от долей до десятка микрометров, когда уже не нужно учитывать уравнение Кельвина для искривленной поверхности, но еще трудно пренебречь кинетическими эффектами. Это хорошо укладывается в тот диапазон, когда конденсационный рост играет определяющую роль в осадкообразовании.

Работа поддержана субсидией для господдержки молодых российских ученых (МК-332.2022.1.2) и частично Министерством науки и высшего образования РФ (FEWZ-2023-0002).

1. *Габышев Д.Н.* Дополнения к расчету скорости конденсационного роста микрокапель воды // Материалы Двадцать седьмой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-27). Екатеринбург: Изд-во АСФ России, 2023. С. 198–199.

## КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЯ В ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЕ ЮГА РОССИИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Д.П. Губанова, О.Г. Чхетиани, Л.О. Максименков

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

*gubanova@ifaran.ru*

Аэрозольные частицы микродисперсной фракции или наночастицы ( $d = 1\text{--}100$  нм), образующиеся *in situ* в атмосфере, играют активную роль в гетерогенных процессах, воздействующих на состав, оптические и радиационные характеристики атмосферы и климат Земли. В последние десятилетия большое внимание уделяется исследованию свойств наночастиц аэрозолей, однако полученные в разных географических районах сведения все еще недостаточны и разрознены. В частности, в России изменчивость параметров наночастиц атмосферного аэрозоля активно изучают на юге Западной и Восточной Сибири [1, 2].

Данная работа дополняет такие исследования и посвящена анализу короткопериодных вариаций счетной концентрации ядер Айткена, нуклеационной и коагуляционной мод аэрозоля в приземном слое атмосферы засушливой степной зоны юга России. Рассмотрены первые результаты полевых наблюдений за характеристиками наноаэрозолей на Цимлянкой научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН в августе 2021 и 2022 гг. Изучен суточный ход концентрации наночастиц, ее временная изменчивость и распределение по размерам с учетом синоптико-метеорологических условий. Проведено сравнение с данными, полученными ранее другими авторами [1–3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-17-00214-П).

1. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д.* // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13, № 11. С. 983–990.

2. *Заяханов А.С. и др.* // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 1. С. 17–23.

3. *Hofman J., et al.* // Atmos. Environ. 2016. V. 136. P. 68–81.

## О ВОЗДЕЙСТВИИ АКУСТИКО-ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Д.П. Губанова, В.Г. Перепелкин, Е.И. Федорова

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

Природные и техногенные экстремальные явления (ураганы, смерчи, грозы, атмосферные фронты, извержения вулканов, землетрясения, взрывы и др.) служат источниками возмущения земной поверхности, основным механизмом распространения которого в атмосферу являются акустико-гравитационные волны (АГВ) [1–3]. Они оказывают воздействие на циркуляцию атмосферы, метеорологические поля и турбулентный режим. Проведенные в последние годы исследования показали, что АГВ могут влиять на концентрацию атмосферных примесей, в том числе приземного аэрозоля [1, 3, 4]. Однако подтверждающих это экспериментальных результатов все еще недостаточно.

Доклад посвящен изучению корреляционных связей между вариациями концентрации частиц приземного аэрозоля и возмущениями атмосферного давления по данным наблюдений в Москве в 2021–2022 гг. Выполнен анализ суточных и сезонных вариаций концентрации приземного аэрозоля и волновых возмущений в поле атмосферного давления с учетом синоптико-метеорологических условий. Рассмотрены эпизоды, связанные с акустическими эффектами в атмосфере, в том числе при извержении вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 21-17-00021).

1. Адушкин В.В., Стивак А.А. // Физика Земли. 2021. № 5. С. 6–16.
2. Куличков С.Н. и др. // Изв. РАН. ФАО. 2019. Т. 55, № 2. С. 32–40.
3. Kulichkov S.N. et al. // Pure Appl. Geophys. 2022. V. 179. P. 1533–1548.
4. Рыбнов Ю.С. и др. // Динамические процессы в геосфере. 2023. Т. 15, № 1. С. 63–72.

## ПЫЛЕВОЙ АЭРОЗОЛЬ ИЗ ПРИКАСПИЯ В ПРИЗЕМНОМ ВОЗДУХЕ ЦЕНТРА ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ: 2011–2022 ГОДЫ

А.А. Виноградова, Д.П. Губанова, Ю.А. Иванова

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

Пылевой аэрозоль из районов песчаных бурь разносится воздушными массами на тысячи километров, влияя на оптические свойства атмосферы, климат и наземные природные объекты. Регион Прикаспия – территории Калмыкии, дельты Волги, закаспийских низменностей и северо-западного Казахстана – представляет собой круглогодичный источник пылевого аэрозоля для южных районов Урала и Западной Сибири. При определенных синоптических условиях возможен перенос пыли в атмосфере из этого региона и в северо-западном направлении вплоть до центра Европейской России [1].

В данной работе анализируются частота таких явлений и повышение уровня аэрозольного загрязнения в приземном воздухе Москвы и Подмоскovie (район г. Звенигород Московской обл.) в разные сезоны 2011–2022 гг. Рассматриваются траектории переноса воздушных масс к Москве, рассчитанные с помощью данных реанализа ARL NOAA по модели HYSPLIT (<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>), а также распределения пыли в приземном воздухе, представленные программой реанализа MERRA-2 (<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>). Сравнение с данными наблюдений за концентрацией аэрозолей PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> в Москве и вблизи Звенигорода [2] показало, что частота поступления воздуха из Прикаспия в эти пункты в среднем составила 4,4%, а превышение содержания аэрозолей PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> во время эпизодов – 3–9 раз.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 23-27-00063).

1. Gubanov D.P. et al. // AIMS Geosciences. DOI: 10.3934/geosci.2022017
2. Виноградова А.А. и др. // Оптика атмосф. и океана. DOI: 10.15372/AOO20220602.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЧЕТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ ИЗ ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ

**В.В. Веретенников, С.С. Меньщикова**

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

Дисперсный состав аэрозоля можно характеризовать, используя различные виды функций распределения частиц по размерам в зависимости от изучаемых процессов, которые определяют микроструктуру аэрозоля. Типичными примерами служат функции распределения по размерам счетной и объемной концентрации, геометрического сечения частиц. Для восстановления микроструктуры аэрозоля по измерениям его оптических характеристик в [1] предложено использовать интегральные функции распределения. При таком подходе можно представить произвольную характеристику аэрозольного светорассеяния в виде интеграла Римана–Стилтьеса. Это позволяет построить приближенное устойчивое решение обратной задачи аэрозольного светорассеяния путем минимизации функционала невязки на множестве монотонных ограниченных функций. В результате были разработаны численные алгоритмы восстановления интегрального распределения по размерам геометрического сечения аэрозоля из измерений его оптических характеристик.

В докладе рассмотрена задача определения интегральной функции распределения счетной концентрации аэрозольных частиц по данным о функции распределения геометрического сечения аэрозоля. Показано, что связь между двумя микроструктурными характеристиками описывается интегральным уравнением Вольтерра 2-го рода. Предложен конечно-разностный алгоритм решения задачи. Разработанный алгоритм был применен для исследования временной трансформации дымового аэрозоля, который образован при термическом разложении древесины сосны в Большой аэрозольной камере ИОА СО РАН.

1. *Веретенников В.В.* Обратные задачи солнечной фотометрии для интегральных аэрозольных распределений. I. Теория и численный эксперимент в субмикронной области размеров частиц // *Оптика атмосф. и океана*. 2006. Т. 19, № 4. С. 294–300.

## КРУПНОМАСШТАБНОЕ ЗАДЫМЛЕНИЕ КАНАДЫ В ИЮНЕ 2023 г. ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ

**О.И. Даценко, Г.И. Горчаков, А.В. Карпов, Р.А. Гуцин**

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

В июне 2023 г. на территории Канады возникли массовые лесные пожары, за которыми последовало крупномасштабное задымление Канады и США. По данным мониторинга оптических и микрофизических характеристик дымового аэрозоля на станции AERONET во время крупномасштабного задымления Аляски летом 2019 г. нами было обнаружено аномальное поглощение дымового аэрозоля в диапазоне спектра от 440 до 1020 нм [1]. Было установлено, что мнимая часть коэффициента преломления вещества частиц дымового аэрозоля растет с увеличением длины волны превышая значение 0,3 на длине волны 1020 нм.

Анализ данных мониторинга показал, что при массовых лесных пожарах в Канаде в июне 2023 г. в отдельных случаях наблюдалось аномальное поглощение дымового аэрозоля. Кроме того, были выявлены случаи заметного проявления присутствия коричневого углерода в частицах дымового аэрозоля.

1. *Горчаков Г.И., Гуцин Р.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Семутникова Е.Г., Даценко О.И., Пономарева Т.Я.* Аномальное поглощение дымового аэрозоля в видимой и ближней инфракрасной областях спектра // *Докл. РАН. Науки о Земле*. 2023. Т. 510, № 1. С. 92–98.

## **АЭРОЗОЛЬНАЯ ПОГОДА: ЭМПИРИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ**

**С.А. Терпугова, М.В. Панченко, В.В. Польшкин, Вас.В. Польшкин,  
Д.Г. Чернов, Е.П. Яушева, В.П. Шмаргунов, А.В. Антонов**

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

Аэрозоль является одним из самых изменчивых компонентов атмосферы. Знание его оптических характеристик чрезвычайно важно для решения многих задач распространения оптического и теплового излучения в атмосфере и развития аэрозольных блоков климатических моделей.

Ранее Г.В. Розенбергом была разработана классификация оптических состояний атмосферы, названная оптической погодой. Известные на тот момент экспериментальные данные позволили выявить важную роль относительной влажности воздуха в изменчивости оптических и микрофизических характеристик аэрозоля. Поэтому именно относительная влажность явилась ключевым параметром для разделения типов оптической погоды.

Дальнейшее развитие исследований аэрозоля в атмосфере показало, что его состояние определяется не только относительной влажностью, но и характеристиками источников частиц, их трансформации в процессе переноса в атмосфере и стока на подстилающую поверхность, т.е. процессами, определяющими концентрацию и состав аэрозоля. Развиваемый нашим коллективом метод активной спектронейлометрии предполагает раздельное изучение сухой основы аэрозоля и его трансформации при изменении относительной влажности. В результате анализа данных многолетних исследований была предложена новая классификация по типам аэрозольной погоды, ключевыми параметрами которой являются коэффициент рассеяния и относительное содержание поглощающего вещества в частицах. Анализ подтвердил, что и физико-химические свойства аэрозоля, такие как его термо- и гигрооптические характеристики, также достоверно различаются при разных типах аэрозольной погоды.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНЫХ ДИПОЛЕЙ И ПРИБЛИЖЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ В ЗАДАЧЕ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА АТМОСФЕРНЫХ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛАХ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

**К.С. Сальников, В.А. Шишко, А.В. Коношонкин, Д.Н. Тимофеев, Н.В. Кустова, А.Г. Боровой**

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
1015k@mail.ru*

Перистые облака представляют собой тонкие полупрозрачные облака, расположенные на высотах 5–12 км и состоящие преимущественно из ледяных кристаллов размерами от единиц до тысяч микрон. Они покрывают около 30% поверхности Земли и существенным образом влияют на ее радиационный баланс и, следовательно, на климат. Недостаток знаний о радиационных характеристиках перистых облаков являются одним из основных источников неопределенности в современных климатических моделях и долгосрочном прогнозировании погоды.

Основным инструментом, позволяющим оперативно получать информацию о микрофизических параметрах облаков, являются лидары. Однако интерпретация лидарного сигнала требует решения прямой задачи рассеяния света на частицах, характерных для перистых облаков.

Приближение физической оптики демонстрирует наибольшую эффективность при решении задачи рассеяния света на ледяных кристаллах размерами от десятка до тысяч микрометров, однако для успешной интерпретации лидарных данных также необходимо получить решения для размеров частиц от 0,02 до 10 мкм. Для решения задачи рассеяния света на таких частицах неправомерно применять приближение физической оптики, поэтому для решения использовался метод дискретных диполей (ADDA).

В докладе представляются результаты решения задачи рассеяния света на мелких хаотически ориентированных кристаллах неправильной формы, дробсталлах, столбиках и пластинках размерами от 0,02 до 3 мкм. Решение задачи рассеяния получено в рамках метода ADDA v. 1.4 для длин волн 0,532; 0,355; 1,064 мкм и показателей преломления 1,3116; 1,3249; 1,3004. Проведено сравнение полученных результатов с имеющимися решениями, полученным в рамках приближения физической оптики.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧАСТИЦ В ФОРМЕ «ПУЛИ» И ДРОКСТАЛЛОВ ПРИМЕНИМЫХ ДЛЯ ЗАДАЧ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

И.В. Ткачев<sup>1</sup>, А.В. Коношонкин<sup>1,2</sup>, Д.Н. Тимофеев<sup>1</sup>, Н.В. Кан<sup>1</sup>, Н.В. Кустова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия  
tiv@iao.ru, sasha\_tvo@iao.ru, tdn@iao.ru, n.kan.08@gmail.com, kustova@iao.ru

Твердые взвешенные частицы в атмосфере, называемые атмосферным аэрозолем, являются объектом активного изучения последние несколько десятилетий, поскольку существенным образом влияют на климат нашей планеты [1]. Для того что бы интерпретировать данные дистанционного зондирования Земли из космоса с помощью лидарных методов, нам необходимо решить задачу рассеяния света, а также изучить оптические свойства атмосферных частиц.

Для решения данной задачи мы используем метод физической оптики, который был разработан в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, так как основная трудность при решении данной задачи заключается именно в том, что для частиц крупного атмосферного аэрозоля отсутствует адекватная оптическая модель, необходимая для интерпретации данных лазерного зондирования, а физическая оптика решает данную проблему [2]. С помощью этого метода можно эффективно исследовать оптические свойства частиц с размером, значительно большим длины волны падающего излучения.

В данной работе представлено решение для частиц в форме «пуля» для диапазона размеров от 10 до 1000 мкм, а также для дроксталлов размерами от 10 до 400 мкм. Исследование для частиц «пуль» проводилось с использованием узловых точек (160, 250, 400, 630 и 1000 мкм). Анализ результатов, полученных для частиц «пуль», показал, что в решении отсутствуют интерференционные осцилляции при построении интенсивности. Однако у дроксталлов они присутствуют, поскольку это связано с когерентными эффектами и эффектом волновода.

Диапазон, в котором варьируется линейное деполаризационное отношение (LDR) для «пуль» равен от 0,22 до 0,38 отн. ед. в зависимости от длины волны, а также от размера частицы. Для дроксталлов LDR варьируется в диапазонах от 0 до 0,6 отн. ед. Учет влияния поглощения приводит к значительному уменьшению LDR, вплоть до нуля, при величине мнимой части показателя преломления более  $0,002i$  и размерах частицы более 100 мкм. Что явно указывает на преобладание внешней зеркальной компоненты в рассеянном излучении.

1. *Liou K.N.* Influence of cirrus clouds on the weather and climate process: A global perspective // *Mon. Weather Rev.* 1986. V. 114. P. 1167–1199.
2. *Konoshonkin A.V., Kustova N.V., Borovoi A.G., Grynko Y., Förstner J.* Light scattering by ice crystals of cirrus clouds: Comparison of the physical optics methods // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2016. V. 182. P. 12–23.

## СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ХАОТИЧЕСКИ И КВАЗИГОРИЗОНТАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Н.В. Кан<sup>1</sup>, Д.Н. Тимофеев<sup>1</sup>, А.В. Коношонкин<sup>1,2</sup>, А.Е. Бабинович<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия  
kann.08@ya.ru

Задача рассеяния света на ледяных несферических частицах является сложной задачей атмосферной оптики, которая традиционно решается точными численными методами. Однако область применимости точных численных методов ограничена размером частиц 5–10 мкм, поскольку для более крупных частиц решение является слишком ресурсозатратным. Метод геометрической оптики применяется для частиц перистых облаков и крупного атмосферного аэрозоля размером порядка 1000 мкм [1]. Однако полученное решение не пригодно для интерпретации данных лазерного зондирования атмосферы, поскольку не может разрешить пик обратного рассеяния, важный для задач лазерного зондирования. Для решение данной проблемы используют метод физической оптики [2]. Тем не менее данный метод обладает высокой вычислительной трудоемкостью при решении задачи рассеяния света по всем направлениям рассеяния, особенно для крупных частиц.

Данная работа посвящена исследованию возможности объединения решений физической и геометрической оптик. Решение строилось в рамках приближения геометрической и физической оптики по всей сфере направлений рассеяния для диапазона размеров частиц от 10 до 1000 мкм, при длинах волн: 0,355; 0,532; 1,064 мкм. Также более подробно рассмотрено направление рассеяния назад и вперед.

Результаты исследования показывают, что для хаотически ориентированных частиц не составляет трудности построить, в рамках приближения геометрической оптики, банк данных оптических характеристик практически во всем диапазоне углов рассеяния, за исключением окрестности вперед и назад. Однако для случая квазигоризонтально ориентированных частиц требуется использовать более строгий подход, поскольку решение имеет значительные расхождения в широком диапазоне углов рассеяния.

1. Masuda K., Ishimoto H., Mano Y. Efficient method of computing a geometric optics integral for light scattering by non-spherical particles // Pap. Meteorol. Geophys. 2012. V. 63. P. 15–19.
2. Tkachev I.V., Timofeev D.N., Kustova N.V., Konoshonkin A.V. Databank of Mueller matrices on atmospheric ice crystals of 10–100 μm for interpretation of ground-based and space-borne lidar data // Optika Atmosfery i Okeana. 2021. V. 34, N 3. P. 199–206 [in Russian].

## СЕЗОННЫЙ ХОД КОНЦЕНТРАЦИИ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СОСТАВЕ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В МОСКВЕ ПРИ РАЗНЫХ СИНОПТИКО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Д.П. Губанова<sup>1</sup>, А.А. Виноградова<sup>1</sup>, В.М. Антонова<sup>1,2</sup>, А.В. Таловская<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

*gubanova@ifaran.ru*

Рассматриваются вариации содержания химических элементов в приземном аэрозоле в Москве, возникающие при изменении метеорологических условий в течение года, а также при аномальном атмосферном переносе загрязнений из районов пыльных бурь и пожаров. Анализируются ряды величин массовой концентрации 33 макро- и микроэлементов за 2020 и 2021 гг., сформированные в ходе регулярных наблюдений за составом аэрозоля в центре Москвы [1] и дополненные метеорологической информацией (<https://rp5.ru>). Сравнительный анализ этих данных для 8 сезонов выполнен многомерными статистическими методами с использованием программного пакета Statistica [2]. Для интерпретации результатов рассчитаны обратные траектории переноса воздушных масс к точке наблюдения с помощью модели HYSPLIT (<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>), а также построены ежедневные карты пожаров на сайте (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>) и поля концентрации аэрозольных частиц PM<sub>2.5</sub> и пыли над центром европейской России по данным реанализа MERRA-2 (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

Выделены статистически значимые различия элементного состава московского аэрозоля в разные сезоны и с учетом метеорологических параметров, оценено влияние неблагоприятных синоптико-метеорологических условий на элементный состав аэрозоля при формировании повышенного уровня аэрозольного загрязнения приземного воздуха в мегаполисе.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 23-27-00063).

1. Губанова Д.П. и др. // Изв. РАН. ФАО. 2023. Т. 59, № 6. В печати.

2. Михальчук А.А., Язиков Е.Г. Многомерный статистический анализ эколого-геохимических измерений. Часть II. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 150 с.

## ИЗМЕНЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЫМОВ В ВИДИМОЙ И ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ ГОРЕНИЯ ОРГАНИКИ

В.Н. Ужегов<sup>1</sup>, В.С. Козлов<sup>1,4</sup>, И.Б. Коновалов<sup>2</sup>, В.В. Веретенников<sup>1</sup>, П.Н. Зенкова<sup>1</sup>, М.В. Панченко<sup>1</sup>,  
Вас.В. Польшкин<sup>1</sup>, В.А. Ромашенко<sup>3</sup>, Д.Г. Чернов<sup>1</sup>, В.П. Шмаргунов<sup>1</sup>, Е.П. Яушева<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, г. Нижний Новгород, Россия

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

<sup>4</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия  
uzhegov@iao.ru

При выполнении проекта «Исследование роли сибирских лесных пожаров как источника поглощающего аэрозоля в Арктике» в Большой Аэрозольной Камере (БАК) ИОА проведена серия измерений спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления, направленного рассеяния и поглощения в смешанных дымах горения и пиролиза (получено 33 временных реализаций) и в чисто пиролизных дымах (получено 14 временных реализаций). Целью измерений было определение роли коричневого и черного углерода в поглощающих свойствах дымов разной природы, а также уточнение изменений абсорбционных характеристик дымового аэрозоля при многосуточном старении дыма в темновых условиях и при облучении дымового шлейфа УФ-излучением, имитирующим воздействие Солнца во влажной и сухой атмосфере БАК.

Показано, что в дымах пиролиза оптические свойства аэрозоля определяются в основном коричневым углеродом. В смешанных дымах возрастает роль черного углерода. Ослабление оптической радиации в дымах в основном обусловлено процессами рассеяния на аэрозольных частицах. Доля поглощения оптической радиации изменяется от 2–4% в пиролизных до 15–20% в смешанных дымах. При облучении дыма УФ-излучением обнаружено повышение концентрации частиц субмикронного размера, уменьшающих абсорбцию оптической радиации. На начальной стадии старения дыма основной вклад в суммарную объемную концентрацию дыма вносит субмикронная фракция. Объемная концентрация грубодисперсной фракции изменяется немонотонно, возрастая в течение первых 10 ч. Спустя 5 ч после начала эксперимента вклад грубодисперсной фракции в суммарный объем частиц становится основным.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (соглашение № 19-77-20109) с использованием оборудования ЦКП «Атмосфера» при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2021-661).

## НЕДЕЛЬНЫЙ ХОД ОТНОШЕНИЯ $I_{(20^\circ)}/I_{(1,2^\circ)}$ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ПРИГОРОДА ТОМСКА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Вас.В. Польшкин

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

Проводится исследование данных, полученных на аэрозольной станции ЛОА ИОА СО РАН за период 2010–2021 гг. с помощью ореольного фотометра закрытого типа. Установка позволяет круглосуточно измерять коэффициент направленного рассеяния в диапазоне углов  $1,2 \pm 20^\circ$ . Формирование массивов данных проведено на основе часовых значений. Анализируются ореольные индикатрисы рассеяния для летнего периода.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЕРИСТЫХ ОБЛАКАХ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ И МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Т.В. Русскова

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

Лидарные методы исследований являются одним из важнейших инструментов для изучения атмосферных аэрозолей и перистых облаков. Безусловный интерес представляют лидары космического базирования, обеспечивающие данными измерений в широких масштабах пространства и времени. Однако значительная

удаленность источника излучения от объектов зондирования, а также наличие дифракционного пика в направлении рассеяния «вперед», характерного для индикатрис рассеяния излучения ледяными частицами, способствуют накоплению в обратном сигнале кратно рассеянного излучения, что значительно усложняет решение обратных задач. К настоящему времени методы извлечения дополнительной информации о рассеивающей среде из фона, обусловленного многократно рассеянным излучением, не разработаны. Использование поляризационных лидарных измерений позволяет расширить класс оцениваемых параметров облаков.

В работе исследуется чувствительность лидарных сигналов к форме и размеру кристаллических частиц. С этой целью рассчитываются профили деполяризационного отношения для каждой из форм кристаллов в предположении линейно поляризованного лазерного излучения. Приводятся оценки влияния эффектов многократного рассеяния на величину деполяризационного отношения.

Моделирование распространения поляризованного лазерного излучения в атмосфере со сплошной перистой облачностью выполняется с помощью оригинального алгоритма метода Монте-Карло [1]. Наряду с суммарным эхо-сигналом вычисляются также все его компоненты, соответствующие разным кратностям рассеяния.

Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант № 22-27-00719, <https://rscf.ru/project/22-27-00719/>).

1. Марчук Г.И., Михайлов Г.А. и др. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. Новосибирск: Наука, 1976. 280 с.

## САМОЛЕТНЫЕ И СТАЦИОНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КОНТАКТНЫМИ И ЛИДАРНЫМИ МЕТОДАМИ В 2021–2023 гг.

Д.В. Симоненков<sup>1</sup>, К.А. Шукуров<sup>2</sup>, А.В. Невзоров<sup>1</sup>, С.Б. Белан<sup>1</sup>, А.П. Макеев<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  
*simon@iao.ru*

В 2022–2023 гг. продолжилось выполнение летных экспериментов над районом Караканского бора на юге Новосибирской области, согласованное с проведением лидарного зондирования на Сибирской лидарной станции ИОА СО РАН.

Исследование выполняется при финансовой поддержке РЦНИ и ННФИ в рамках научного проекта № 20-55-56028. Используются данные измерений, полученные с помощью оборудования в рамках госзаданий ИОА СО РАН и ИФА РАН.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ИМПАКТОРЕ NANOMOUDI 125R В ОБСЕРВАТОРИИ «ФОНОВАЯ» В 2022–2023 гг.

М.Ю. Аршинов<sup>1</sup>, В.Г. Аршинова<sup>1</sup>, Б.Д. Белан<sup>1</sup>, С.Б. Белан<sup>1</sup>, В.С. Бучельников<sup>1</sup>, О.И. Бердашкинова<sup>2</sup>, Л.П. Голобокова<sup>2</sup>, Д.К. Давыдов<sup>1</sup>, Г.А. Ивлев<sup>1</sup>, А.В. Козлов<sup>1</sup>, А.С. Козлов<sup>3</sup>, Н.А. Онишук<sup>2</sup>, Т.М. Рассказчикова<sup>1</sup>, Д.В. Симоненков<sup>1</sup>, Г.Н. Толмачев<sup>1</sup>, Т.В. Ходжер<sup>2</sup>, А.В. Фофонов<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Иркутский лимнологический институт СО РАН, Россия

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

В обсерватории «Фоновая» с осени 2021 г. установлен 13-каскадный импактор высокого разрешения 125R NanoMoudi-II<sup>TM</sup>, способный селективно отбирать аэрозоль разного диапазона дисперсности с номинальными размерами: 10000, 5600, 3200, 1800, 1000, 560, 320, 180, 100, 56, 32, 18 и 10 нм. Опробированы 3 типа подложек: алюминиевая фольга, кварцевые и тефлоновые фильтры. Кварцевые фильтры оказались удобными для исследования ионно-элементного состава фракций приземного фонового аэрозоля. Анализ этих проб производится в Иркутском лимнологическом институте СО РАН методами ионной хроматографии и ИСП-МС. Тефлоновые фильтры типа Grimm 1.113A хорошо подходят для анализа органического состава аэрозолей методом ГХ-МС в ИХКГ СО РАН.

С начала 2022 г. экспозиция фильтров производится практически ежемесячно, состав анализируется опробированными в конце 2021 – первой половине 2022 г. методиками.

Работа выполняется в соответствии с госзаданиями аффилированных организаций.

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

## **ТЕСТОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИЕМНЫХ КАНАЛОВ ТРАССОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ**

**Н.С. Кравцова, С.А. Садовников**

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

В вопросах понимания изменения климата [1, 2] важной задачей является контроль значений концентраций парниковых газов и исследование причин их изменения (повышения) на планете в различных географических масштабах. Дистанционные технические средства мониторинга парниковых газов, основанные на методе абсорбционной спектроскопии [3], зарекомендовали себя как отличный инструмент, позволяющий получать информацию о содержании исследуемых парниковых газов, не находясь в локальной точке пробоотбора. В рамках данной работы рассмотрены технические возможности создания экспериментальной установки трассового измерителя углекислого газа в атмосфере.

В процессе выполнения исследовательских задач был создан приемный блок для измерителя углекислого газа. Разработана программа регистрации спектров с помощью линейчатого фотодетектора. Проведены тестовые эксперименты по регистрации лидарных сигналов, отраженных от различных топографических целей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-1109.2022.4.

1. Wang Y.-R., Hessen D.O., Samset B.H., Stordal F. // Remote Sensing of Environment. 2022. V. 280. P. 113181.
2. Jain P., Castellanos-Acuna D., Coogan S.C.P., Abatzoglou J.T., Flannigan M.D. // Nat. Clim. Chang. 2021. V. 12, N 1. P. 63–70.
3. Vasil'ev B.I., Mannoun O. // Quantum Electron. 2006. V. 36, N 9. P. 801–820.

## **КАЛИБРОВКА СПЕКТРАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ДЛИН ВОЛН ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРА**

**Н.С. Кравцова, С.А. Садовников**

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

В настоящее время отмечается существенный рост концентрации парниковых газов в атмосфере. Наблюдение за подобными изменениями проводится с применением различных инструментов – от пробоотборных газоанализаторов, до спутниковых устройств. Вместе с тем, одним из общепризнанных подходов для измерения распределения газовых составляющих атмосферы является лидарный метод [1]. Данный подход состоит в направлении импульсного лазерного излучения вдоль исследуемого объема, регистрации отраженных от молекулярных и аэрозольных составляющих атмосферы лидарных сигналов и восстановлении профилей исследуемых газов на заданных участках трассы. При создании лидарного оборудования применяются различные лазерные системы и одной из задач при их построении является калибровка спектрального положения длин волн генерации.

С применением газовой кюветы КГ01, баллона наполненного газовой смесью CO<sub>2</sub> (ГОСТ 8050-85), ре-дуктора УР 6 6 mini (Krass) и измерителя энергии/мощности РМ100USB (Thorlabs) проведено восстановление спектров пропускания газовой смеси в кювете. С использованием восстановленных спектров проведена процедура калибровки, которая позволила произвести уточнение спектрального положения линии генерации лазера в ИК-диапазоне спектра.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-1109.2022.4.

1. Refaat T.F., Petros M., Antill C.W., Singh U.N., Choi Y., Plant J.V., Digangi J.P., Noe A. // Atmosphere. 2021. V. 12, N 3.

## РАЗНЫЕ ПОДХОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУХА В АЭРОЗОЛЬНЫХ СТЕНДАХ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ «ПОТОК»

Н.Ю. Шомовская, А.Р. Зайцев

ООО НПФ «Поток-Интер», г. Москва, Россия  
post@potok.com

Проведена оценка эффективности обеззараживания воздуха установками «Поток 150-М-1» на базе НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи, ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» в России и Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation в Германии.

В НИЦЭМ исследования проведены на бактериофаге MS2 в камере микробиологической безопасности при кратности обеззараживания воздуха 20 раз/ч. В камере достигалась концентрация бактериофага  $1,08 \cdot 10^7$  БОЕ/м<sup>3</sup>, распыление прекращалось, и включалась установка. Снижение концентрации бактериофага составило 99,99% за 26 мин. Концентрация аэрозольных частиц размером 0,3 мкм снизилась с  $5 \cdot 10^7$  до  $5 \cdot 10^5$  частиц/м<sup>3</sup>.

В Институте Фраунхофер испытания проведены в комнате для моделирования реальных условий по ИСО 14644-1:2015 на бактериофаге Phi6 при кратности обеззараживания воздуха 2,5 раз/ч. Показано снижение концентрации вируса с  $5,17 \cdot 10^6$  до  $2,96 \cdot 10^5$  БОЕ/м<sup>3</sup> во время распыления вируса и начале работы установки и последующее снижение до  $2,92 \cdot 10^4$  БОЕ/м<sup>3</sup> при прекращении распыления и при продолжении работы установки. Зафиксировано снижение концентрации частиц размером  $\leq 0,2$  мкм на 4 порядка в конце эксперимента за исключением мертвой зоны, где изменения незначительны. Концентрация частиц размером  $> 0,2$  мкм упала до значений ниже порога определения.

В ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» проведены исследования модуля обеззараживания ПОТОК в динамической камере «за один проход» на примере вируса птичьего гриппа H5A1 с эффективностью обеззараживания более 99% при механическом задержании аэрозоля 50%.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗООБМЕНА НА ГРАНИЦЕ «ПОВЕРХНОСТЬ – АТМОСФЕРА» АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ КАМЕРНЫМ МЕТОДОМ

В.В. Антонович, М.Ю. Аршинов, Д.К. Давыдов, А.В. Козлов, А.А. Плотников, А.В. Фофонов

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

Автоматизированные камерные системы, работающие в закрытом динамическом режиме (*non-steady-state chambers*), наряду с методом турбулентных пульсаций (*eddy covariance method*), рекомендованы в качестве основных средств измерений потоков двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>) и закиси азота (N<sub>2</sub>O) на границе «почва – атмосфера» на станциях мониторинга международной системы ICOS (Integrated Carbon Observation System) [1].

В докладе приводятся данные мониторинга потоков парниковых газов (CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>) в характерных растительных ассоциациях Бакчарского болота и на припойменной луговине р. Обь в Томской области в летний период 2023 г. Круглосуточные наблюдения за газовыми потоками проводились с использованием двух автономных камерных комплексов «FluxNIES» на болотном стационаре «Plotnikovo» [2] и на оборудовании обсерватории круглогодичного мониторинга «Фоновая», расположенной в районе пос. Киреевск [3].

Полученные данные сравниваются с результатами предыдущих многолетних исследований, анализируется межгодовая и пространственная изменчивость поглощения атмосферного углерода или его эмиссии в изучаемых экосистемах. Рассматривается влияние погодных факторов, приводящих к снижению поглощения CO<sub>2</sub> растительным покровом в вегетативный период и изменениям эмиссии CH<sub>4</sub>, а также многолетнее поведение почвенных вод на территории проведения исследований.

Работа выполнена с использованием инфраструктуры ИОА СО РАН, созданной и эксплуатируемой по госзаданию № 121031500342-0, включая ЦКП «Атмосфера».

1. Pavelka M., et al. Standardisation of chamber technique for CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> fluxes measurements from terrestrial ecosystems // Int. Agrophys. 2018. V. 32. P. 569–587. DOI: 10.1515/intag-2017-0045.
2. Davydov D.K., Dyachkova A.V., Simonenkov D.V., Fofonov A.V., Maksyutov S.S. Application of the automated chamber method for long-term gas flow measurements in swamp ecosystems of the West Siberia // Environmental Dynamics and Global Climate Change. 2021. V. 12, N 1. P. 5–14. DOI: 10.17816/edgcc48700.
3. URL: <http://lop.iao.ru/fon/flow>.

## ПОТОКИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПО ДАННЫМ ПУЛЬСАЦИОННЫХ И КАМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (ПРИМЕРЕ БОЛОТА МУХРИНО)

Е.А. Дюкарев<sup>1,2</sup>, А.А. Дмитриченко<sup>2</sup>, Е.А. Заров<sup>2</sup>, А.А. Кулик<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия  
dekot@mail.ru

В докладе представлены результаты наблюдений за потоками углекислого газа на научно-полевой ст. Мухрино в 2022–2023 гг. Исследование потоков проводилось с помощью автоматической камерной системы КАСМ-8 (на базе газоанализатора Li-850 и восьми прозрачных камер) и системы измерений турбулентных пульсаций (на базе анемометра МЕТЕК Sage MP и газоанализатора Li-7200).

По результатам пульсационных измерений на грядово-мочажинном комплексе, чистый экосистемный обмен (NEE) с 1 октября 2021 г. по 30 сентября 2022 г. оценен в  $-82,8 \text{ гС/м}^2$ , при максимальном суммарном месячном NEE в  $-54,6 \text{ гС/м}^2$  в июле. Значимое поглощение углерода в болотной экосистеме зарегистрировано с мая по август. Всего за теплый период кумулятивный NEE составил  $-114,8 \text{ гС/м}^2$ . В октябре при снижении интенсивности фотосинтеза, но еще больших значениях экосистемного дыхания, суммарный экосистемный обмен становится положительным. С октября по апрель болото является источником углерода с интенсивностью от  $3,5$  до  $5,9 \text{ гС/м}^2$  в месяц.

Оценка NEE камерным методом для гряд и мочажин показала, что суммарная скорость поглощения  $\text{CO}_2$  превышает совокупное выделение  $\text{CO}_2$  на ГМК. Средний за два года исследований NEE на мочажине был в 1,7 раза выше ( $-87,7 \text{ гС/м}^2$ ), чем на гряде ( $-50,2 \text{ гС/м}^2$ ). Валовая первичная продукция составила  $-344,8$  и  $-228,5 \text{ гС/м}^2$ , тогда как экосистемное дыхание оценено в  $287,6$  и  $140,9 \text{ гС/м}^2$  на гряде и мочажине, соответственно.

## ИЗМЕРИТЕЛЬ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИОДНОГО ЛАЗЕРА

А.В. Крючков, В.В. Филатов, М.П. Герасимова, С.А. Садовников

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
kaw@iao.ru, fvv@iao.ru, gmp@iao.ru, sadsa@iao.ru

В рамках работы предложены конфигурации измерителя метана в атмосфере с применением диодного лазера. Использование оптоволоконных элементов позволило избежать многих юстировок в оптической схеме прибора, а также минимизировать его массу и габариты. Использование того или иного варианта оптической спектральной фильтрации, определяется характеристиками лазера и выбранными для работы полосами поглощения  $\text{CH}_4$ , выработан алгоритм функционирования данной системы, путем численного моделирования спектров пропускания атмосферы в различных климатических условиях оценены перспективы применения в его составе различных диодных лазеров, наряду с целевым газом ( $\text{CH}_4$ ) выявлена возможность регистрации концентрации водяного пара в диапазонах генерации рассматриваемых лазеров:  $1645\text{--}1655 \text{ нм}$  ( $6079,027\text{--}6042,296 \text{ см}^{-1}$ ) и  $1654,25\text{--}1651,52 \text{ нм}$  ( $6045\text{--}6055 \text{ см}^{-1}$ ).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН (Лаборатория мониторинга парниковых газов).

## ХРОНОЛОГИИ СОДЕРЖАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ГАЗОВ СПИЛОВ ЛИСТВЕННЫХ ДЕРЕВЬЕВ ТОМСКОГО РЕГИОНА

Б.Г. Агеев, Ю.Н. Пономарев, В.А. Сапожникова

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

Ранее нами были проведены обширные измерения содержания остаточных газов в спилах хвойных, в результате которых получены соответствующие хронологии [1], проведен их статистический анализ, показана связь с метеопараметрами.

Для получения более полных данных о влиянии условий окружающей среды на хронологии остаточных газов в спилах древесных растений, выполнена серия измерений газосодержания в древесине лиственных пород. Использовались спилы лиственных деревьев характерных для флоры Томской области (осина, береза, черемуха, ива, липа). Участки произрастания находились как в лесной зоне, так и в городской черте. Методика получения хронологий газовых компонент основана на лазерном ( $\text{CO}_2$ -лазер) оптико-акустическом анализе газовых проб, вакуумно-экстрагированных из древесины годичных колец. Для всех исследованных спилов получены хронологии остаточных газов  $\text{CO}_2$  и  $(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$ .

Анализ хронологий показал, что исследованные спилы, так же как и спилы хвойных деревьев, способны запастись в древесине  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ), выработанные в процессе жизнедеятельности. Погодичное изменение содержания  $\text{CO}_2$  может быть связано с изменением условий произрастания деревьев при изменении эколого-климатических условий и использовано для оценок ретро климата и прогноза баланса углерода в лесных массивах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Агеев Б.Г., Сапожникова В.А. Годичные ряды концентраций углекислого газа и водяного пара, полученные при оптико-акустическом анализе газовых проб из древесины годичных колец спилов хвойных // Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем. Бюллетень. 2012. № 4: Базы данных, зарегистрированные в реестре баз данных Российской Федерации. С. 731.

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА АРКТИЧЕСКИХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Т.О. Перемитина, И.Г. Ященко**

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

С применением спутниковых данных среднего разрешения MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) проведен анализ состояния растительного покрова северных и арктических нефтегазодобывающих территорий за многолетний период (2013–2022 гг.). Для этой цели был разработан алгоритм, основанный на расчете вегетационных индексов NDVI и EVI, который позволил получить количественную оценку состояния растительности исследуемых территорий.

Предложенный подход позволил провести ретроспективный анализ данных о состоянии растительного покрова за несколько периодов вегетации и сделать выводы о текущем состоянии растительности нефтегазодобывающих территорий углеводородных месторождений Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов. Результаты анализа показали значительное увеличение значений вегетационных индексов с 2020 г., что можно связать не только с проведением различных восстановительных мероприятий, но и со значительными климатическими изменениями. Установлено, что для большинства исследуемых территорий характерно увеличение объема фитомассы в условиях увеличения продолжительности вегетационного периода.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования РФ (НИОКТР 121031500048-1).

## **ПОСТУПЛЕНИЕ В АТМОСФЕРУ В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ ПЫЛЬЦЫ ЭНТОМОФИЛЬНЫХ И АНЕМОФИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**В.В. Головкин<sup>1</sup>, Г.А. Зуева<sup>2</sup>, Т.И. Киселева<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

Перенос пыльцы в атмосфере ветровыми потоками – природный процесс, обуславливающий семенное размножение ветроопыляемых растений, основных продуцентов внетропических фитоценозов, и тем самым обеспечивающий само существование современной биоты на 64% суши. Благодаря высокой пыльцевой продуктивности пыльца ветроопыляемых растений – неизменная компонента атмосферного аэрозоля, вызывающая аллергические заболевания, переносящая ряд химических элементов в биоценозах, в периоды наиболее интенсивного цветения способная оказывать влияние на оптические свойства атмосферы (пыльцевая дымка) и служить ядрами конденсации дождевых капель.

Ее распространение в атмосфере – физический процесс. Эффективность переноса ветром пылевых частиц определяется скоростью их оседания, которая, в свою очередь зависит от кластерного состава пылевого аэрозоля.

Приведены результаты исследования эмиссии в атмосферу пыльцы тридцати анемофильных и энтомофильных видов растений, произрастающих в Западной Сибири. Оценена доля кластеров из двух или большего числа пылевых зерен (ПЗ) от суммарного числа пылевых частиц (ПЧ), поступающих в атмосферу. Показано, что подобные кластеры в значительных количествах образовывались во всех сериях опытов. Установлена процентная доля пылевых кластеров от общего числа пылевых частиц и доля пылевых зерен в составе кластеров. Показано, что, не смотря на наличие морфологических приспособлений, препятствующих образованию кластеров у ветроопыляемых растений, кластеры у них регулярно образуются в значимых количествах.

## АНАЛИЗ УХОДЯЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В СПЕКТРАЛЬНЫХ УЧАСТКАХ 1002–1003, 1020–1021 см<sup>-1</sup>

С.А. Шишигин

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

В докладе используется модель атмосферы, представленной в виде одного и двух однородных слоев до высоты 40 км [1]. Средний коэффициент пропускания излучения всей неоднородной толщей атмосферы в диапазоне 1002–1003 см<sup>-1</sup> уменьшается с ростом температуры профиля атмосферы, а в диапазоне 1020–1021 см<sup>-1</sup> увеличивается. Уходящее излучение всей толщи воздуха в обоих диапазонах увеличивается с повышением температуры профиля атмосферы. Процентная доля мощности уходящего излучения атмосферы не превышает 30%. Излучение поверхности Земли (290 К), прошедшее атмосферу в спектральном диапазоне 1002–1003 см<sup>-1</sup> с повышением температуры профиля атмосферы увеличивается, а в диапазоне 1020–1021 см<sup>-1</sup> уменьшается. Суммарное уходящее излучение в обоих диапазонах растет с повышением температуры профиля атмосферы.

1. Шишигин С.А. Модельные расчеты содержания озона в атмосфере по уходящему излучению Земли // Исследование Земли из космоса. 2023. № 2. С. 12–17.

## ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ ПО УХОДЯЩЕМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ЗЕМЛИ

С.А. Шишигин

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

На основе алгоритма расчета содержания озона в атмосфере по уходящему излучению земли [1], рассмотрено влияние погрешности задания температуры профиля атмосферы, изменения концентрации озона в воздухе на погрешность определения содержания озона в атмосфере.

Отклонение изменения содержания озона в слоях атмосферы по сравнению с моделью при изменении профиля температуры атмосферы на 2 К приводит к завышению добавки О<sub>3</sub>, а при изменении профиля температуры атмосферы на –5 К к занижению изменения озона в слоях. Наблюдается пропорциональное изменение температуры эффективного слоя атмосферы с изменением температуры профиля атмосферы, позволяющее скорректировать вертикальный профиль температуры модели атмосферы.

При изменениях добавки в слои озона в 2 раза калибровочные коэффициенты  $C_1$  меняются на тысячные доли в спектральных участках 1020–1021 и 1002–1003 см<sup>-1</sup>, что вносит погрешность определения содержания в атмосфере менее 1%.

1. Шишигин С.А. Модельные расчеты содержания озона в атмосфере по уходящему излучению Земли // Исследование Земли из космоса. 2023. № 2. С. 12–17.

## ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМА ЧАСТИЦ ПЫЛЬЦЫ ИЗ-ЗА ВЫСЫХАНИЯ ПРИ ИХ ПОСТУПЛЕНИИ В АТМОСФЕРУ

**В.В. Головки**

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

Пыльца семенных анемофильных растений – мужские гаметофиты. Их перенос в атмосфере – ключевой этап семенного размножения растений, продуцирующих более 9/10 биомассы внетропической суши, вызывающий аллергические заболевания, влияющий на химический состав атмосферного аэрозоля. Протопласты поступающих в атмосферу мужских гаметофитов на 50 и более процентов состоит из воды. Их высыхание – процесс физический, сопровождающийся изменением объема, формы, плотности и площади поверхности пыльцевых зерен, что в свою очередь может способствовать образованию пыльцевых кластеров. Изменения в процессе высыхания аэродинамических характеристик пыльцевых частиц, таких как их аэродинамический диаметр и скорость оседания, обуславливают дальность переноса пыльцевого аэрозоля.

Изучена пыльца анемофильных растений, являющийся основными продуцентами пыльцевой компоненты грубодисперсной фракции атмосферного аэрозоля в Западной Сибири. Разработана методика оценки объема пыльцевых частиц при различных значениях относительной влажности воздуха, произведена оценка скорости высыхания пыльцевых частиц.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ХМАО-ЮГРА

**М.Н. Алексеева, Д.В. Федоров, И.Г. Яценко, И.В. Русских**

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

Основными организованными источниками загрязнения атмосферного воздуха на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО-ЮГРА) являются факельные установки для сжигания попутного газа (ФУ) и трубы печей. Для оценки уровня загрязнения окружающей среды актуальным является моделирование полей концентраций загрязняющих веществ и сопоставление полученных результатов со спутниковыми и наземными данными. Моделирование проводили на территориях ФУ № 1, 2, 3 Мамонтовского месторождения (г. Пыть-Ях) в унифицированной программе «Эко центр» на основе параметров: температура и расход выбрасываемой газо-воздушной смеси, высота источника выброса вредных веществ, средняя скорость поступления в атмосферу газовой смеси из источника выброса и диаметр факела. Смоделированные по этим показателям изолинии минимальных концентраций CO ( $0,15 \text{ мг/м}^3$ ) пропорциональны расстояниям 1070 и 664 м от ФУ № 1, 2 и ФУ № 3 соответственно. Это не противоречит ретроспективному анализу MERRA-2 программы NASA: на дату 28.09.2021 г. концентрации CO на площадках  $50 \times 50 \text{ км}$ , в том числе с ФУ, составили 0,15 и 0,14  $\text{мг/м}^3$ . С помощью хроматомасс-спектрометрического метода в пробах почвы, отобранных в зоне влияния ФУ № 3, были идентифицированы полициклоароматические углеводороды, являющиеся основными компонентами продуктов горения, их максимальное содержание обнаружено даже в образце, удаленном от факела на 1380 м.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования РФ (НИОКТР 121031500046-7).

## АНОМАЛИИ ОЗОНА В СТРАТОСФЕРЕ АРКТИКИ И СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ В 2011 И 2020 гг. ПО ДАННЫМ Aura MLS

**О.Е. Баженов**

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

Глобальное потепление климата влечет за собой охлаждение стратосферы и усиление Арктического стратосферного полярного вихря [1]. Данные наблюдений Aura MLS содержат по крайней мере два подобных эпизода низких температур в стратосфере. В 2010/2011 гг. пониженные минимальные температуры в стратосфере не были рекордно низкими, но исключительно продолжительный (продолжившийся и в апреле) сезон полярных стратосферных облаков (ПСО) привел к беспрецедентному химическому разрушению

озона в стратосфере Арктики. Зимой-весной 2019/2020 гг. температуры в стратосфере установились ниже порога образования ПСО ( $T_{\text{NAT}}$ ) раньше, чем в любой другой год временного ряда наблюдений MLS, и оставались низкими так же долго, как и в 2011 г. Минимальные температуры были на 8–13% ниже нормы над Арктикой в 2020 г. и на 8–12% ниже нормы в 2011 г. Концентрация озона значительно сокращалась на высотах стратосферы: до 4% от многолетнего среднего на высоте ~20 км 27 марта 2020 г. и до 25% на высоте 21 км 20 марта 2011 г. для Эврики; до 3% на высоте 19 км 19 апреля 2020 г. и до 24% на высоте 20 км 20 марта 2011 г. для Нью-Олесунн [2].

1. Rex M., Salawitch R.J., von der Gathen P., Harris N.R.P., Chipperfield M.P., Naujokat B. Arctic ozone loss and climate change // *Geophys. Res. Lett.* 2004. V. 31. P. L04116. DOI: 10.1029/2003GL018844.
2. Баженов О.Е. Озоновые аномалии в стратосфере Арктики и Северной Евразии: сравнение явлений 2011 и 2020 гг. по данным TEMIS и Aura MLS // *Оптика атмосф. и океана.* 2022. Т. 35, № 5. С. 390–396. DOI: 10.15372/AOO20220507.

## ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ОРГАНИЧЕСКОГО АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИКИ И МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

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

*Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
dultseva@kinetics.nsc.ru*

Проведены натурные измерения (ВЭЖХ) концентраций органических соединений природного и антропогенного происхождения, участвующих в образовании аэрозоля в приземном слое воздуха на территории Новосибирского научного центра и прилегающих лесостепных ландшафтов. Обнаружено, что перенос типичных газообразных загрязнителей городского воздуха (оксиды азота, озон) в воздух лесных массивов и, наоборот, перенос биогенных соединений (алкенов, альдегидов) на территорию города вызывает резкие изменения кинетики и механизмов аэрозолеобразования. С использованием диффузионного спектрометра аэрозолей экспериментально получены данные о влиянии оксидов азота, озона, перекисных соединений, карбоновых кислот, а также биогенных углеводородов на скорость образования аэрозольных частиц нанометровых размеров при фотонуклеации бензальдегида и его гидрокси- и метокси-производных. Исследована роль свободнорадикальных стадий в генерации конденсирующихся продуктов фотоокисления салицилового и анисового альдегидов. Для подтверждения предположений о механизмах образования аэрозоля проведено моделирование кинетики фотонуклеации. На основании полученных экспериментальных результатов, данных моделирования и результатов натурных измерений приведены количественные оценки мощности природных и антропогенных источников органического аэрозоля в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. Полученные результаты сопоставлены с данными, полученными при применении моделей образования вторичного органического аэрозоля в глобальном масштабе [1].

1. Porter W.C., Jose L. Jimenez J.L., Kelley C., Barsanti K.C. // *ACS Earth Space Chem.* 2021. V. 5, N 9. P. 2380–2397. DOI: 10.1021/acsearthspacechem.1c00090.

## РОСТ CO<sub>2</sub> В АТМОСФЕРЕ И СТОК УГЛЕРОДА В ЛЕСНУЮ ЭКОСИСТЕМУ ПО ДАННЫМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ НА КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ В КОУРОВКЕ

И.В. Задворных<sup>1</sup>, К.Г. Грибанов<sup>1</sup>, В.И. Захаров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup>*Институт математики и механики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
vyacheslav.zakharov@urfu.ru*

Уральская атмосферная станция (УАС) расположена на участке карбонового полигона на территории Коуровской астрономической обсерватории Уральского федерального университета. Координаты УАС – 57,038° с.ш.; 59,545° в.д., высота над уровнем моря около 300 м. Для гиперспектрального дистанционного зондирования атмосферы используется инфракрасный (ИК) Фурье-спектрометр высокого спектрального разрешения Bruker IFS-125M, сопряженный с автоматизированным солнечным трекером А547N. Используемый спектральный диапазон ИК-Фурье-спектрометра 4000–11000 см<sup>-1</sup>, спектральное разрешение 0,02 см<sup>-1</sup>.

В докладе обсуждаются результаты гиперспектрального зондирования атмосферы на УАС в Коуровке. Получены данные по содержанию CO<sub>2</sub> в атмосферном столбе. Показано, что средняя скорость роста CO<sub>2</sub> в атмосфере за период 2012–2022 гг. составляет около 2,5 ppm в год. Сделана оценка объема поглощаемого из атмосферы углекислого газа (тCO<sub>2</sub>/га) за вегетационный период (апрель – сентябрь) в данном регионе. Объем поглощенного из атмосферы CO<sub>2</sub> лесной экосистемой в окрестности участка карбонового полигона, выраженный в тоннах на гектар варьируется в зависимости от года в диапазоне от 1,41 до 2,35 т/га, что в пересчете на поглощенный из атмосферы углерод (тС/га) составляет от 0,39 до 0,64 т/га соответственно. Исследование выполнено при поддержке госзадания Минобрнауки РФ (проект №FEUZ-2023-0023).

## **ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ И СУММАРНОГО БЕЛКА ОТ МЕТЕОУСЛОВИЙ В ОКРЕСТНОСТИ Г. НОВОСИБИРСКА**

**А.С. Сафатов<sup>1</sup>, Н.А. Лаптева<sup>1</sup>, С.Е. Олькин<sup>1</sup>, И.С. Андреева<sup>1</sup>, Н.А. Соловьянова<sup>1</sup>, Г.А. Буряк<sup>1</sup>,  
И.К. Резникова<sup>1</sup>, М.Р. Кабилов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

<sup>2</sup>ЦКП «Геномика» Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН,  
г. Новосибирск, Россия  
safatov@vector.nsc.ru

В продолжение работ по изучению биологических компонент атмосферного аэрозоля на площадке ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора начиная с 23.09.2020 г. осуществлялся отбор проб раз в две недели по двенадцать часов: с 09:00 до 21:00 и с 21:00 до 09:00 следующего дня на мембранные фильтры с одновременной фиксацией метеоусловий пробоотбора и четыре раза в один день в середине месяца в импинджеры и на волокнистые фильтры. Цель настоящей работы – исследование зависимости концентрации культивируемых микроорганизмов и суммарного белка от метеопараметров: направления ветра, скорости ветра, температуры, атмосферного давления, относительной и абсолютной влажности.

Концентрацию суммарного белка определяли методом флуоресценции реагента, связывающего с белком, а концентрацию культивируемых микроорганизмов стандартными культуральными методами.

Метеоданные поступали с метеопоста, расположенного вблизи точки пробоотбора с разрешением 1 мин, которые в дальнейшем усреднялись за время проведения пробоотбора.

Анализ полученных данных за три года наблюдений показывает, что концентрации биологических компонент в аэрозоле растут с увеличением средних температуры, абсолютной влажности и освещенности в течение пробоотбора и снижаются с ростом средних значений относительной влажности, скорости ветра и атмосферного давления. Проведено сравнение полученных результатов с литературными данными.

Работы выполнены при поддержке Государственных заданий Роспотребнадзора и проекта РФФИ «Микромир» № 19-05-50032.

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЫМОВ РЯЗАНСКИХ ПОЖАРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОЗОЛЕЙ МОСКВЫ В АВГУСТЕ 2022 г.**

**М.А. Чичаева<sup>1</sup>, О.Б. Поповичева<sup>2</sup>, Р.Г. Ковач<sup>1</sup>, Д.А. Хозяинова<sup>1</sup>, А.В. Семенова<sup>1</sup>,  
Ю.А. Завгородняя<sup>3</sup>, Н.С. Касимов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Россия

<sup>2</sup>НИИЯФ Московский государственный университет, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет, Факультет почвоведения, Россия  
machichaeva@gmail.com

Разрабатываются технологии оценки состояния аэрозольной нагрузки атмосферы на базе Аэрозольного комплекса МГУ (юго-запад Москвы), проводятся непрерывные измерения числа частиц и распределения по размерам, концентраций PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и продуктов сжигания топлив транспортными и промышленными системами (черного углерода), химического состава аэрозолей (органического углерода (ОС), элементов, полиароматических углеводородов (ПАУ)). Шлейфы дымовых эмиссий пожаров в Рязанской области зарегистрированы в августе 2022 г. по изменению физико-химических характеристик аэрозолей. Распределение частиц по размерам указало на увеличение размера частиц. Концентрация ОС возросла в 10 раз (до 42 мкг/м<sup>3</sup>) по сравнению с городским фоном в июне-июле 2022 г., PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> достигли 100 и 84 мкг/м<sup>3</sup>. Зарегист-

рировано трехкратное превышение. 2–3 кольчатыми ПАУ (до  $4,7 \text{ нг/м}^3$ ), диагностические отношения АНТ/(АНТ + ФЕ) подтвердили доминирование пирогенных эмиссий. Концентрации Fe, Na, Al, K, Ca в пылевой и почвенной фракции дважды превысили фоновые. Микроструктура аэрозолей городского фона, на 70% представленная соединениями Fe и Ca, сменилась на обогащенную Si (77%) и смешенными частицами. Анализ ФТИР спектров аэрозолей показал увеличение окисленных соединений в результате усиления фотохимических процессов. В период задымления показатель ААЕ достиг 2,2, концентрация черного углерода компоненты горения биомасс превысила его концентрацию в эмиссиях транспорта и промышленности, что является уникальным событием для Москвы. Информация о столь значительном загрязнении атмосферы Москвы освещена в средствах массовой информации [1]. При моделировании дальнего переноса выявлены источники высокой интенсивности горения биомасс в Ю-В направлении от Москвы.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 19-77-30004-П).

1. URL: <https://new.ras.ru/activities/news/dolya-dymov-pozharov-v-moskve-prevysila-emissii-transporta-i-promyshlennykh-ustanovok/>.

## ПРИСУТСТВИЕ АНОМАЛЬНО ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СУММАРНОГО БЕЛКА В ПРОБАХ, ВЗЯТЫХ ПРИ САМОЛЕТНОМ ЗОНДИРОВАНИИ АТМОСФЕРЫ

Г.А. Буряк<sup>1</sup>, А.С. Сафатов<sup>1</sup>, С.Е. Олькин<sup>1</sup>, И.К. Резникова<sup>1</sup>, Б.Д. Белан<sup>2</sup>, Д.В. Симоненков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

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

[buryak@vector.nsc.ru](mailto:buryak@vector.nsc.ru)

Начиная с декабря 1998 г. при самолетном зондировании атмосферы над Караканским лесным массивом ведется мониторинг биогенной компоненты проб атмосферного аэрозоля. Трасса полета проходит на высотах 500–7000 м. Отбор аэрозолей осуществляется в течение 6–10 мин путем прокачки порядка  $2 \text{ м}^3$  воздуха на волокнистые фильтры типа АФА-ХА-20.

Масса суммарного белка в пробах определяется с использованием флуоресцентного красителя [1]. Предел обнаружения суммарного белка на спектрофлуориметре Shimadzu RF-520 с использованием СВQСА составляет  $0,0005 \text{ мкг/мл}$  концентрированного образца, ошибка определения его концентрации не превышает 20%. В ходе многолетнего мониторинга среднее значение концентрации суммарного белка на высотах 500–2000 м не превышает  $1,75 \text{ мг/м}^3$ . При проведении самолетного зондирования 31 мая 2023 г. концентрации суммарного белка на высотах 500, 1000, 1500 и 2000 м составили соответственно 4,49; 6,65; 9,46 и  $4,57 \text{ мг/м}^3$ , а на высотах 3000–7000 м они не превышали средние значения для этих высот. Построенные обратные траектории движения воздушных масс, из которых проведен отбор проб на высотах 500–2000 м, показали, что маршрут их движения проходил над регионами России, в которых были сильные лесные пожары. Для других высот маршрут движения воздушных масс проходил над южными регионами. Это объясняет аномально высокие концентрации суммарного белка на высотах 500–2000 м.

Работа выполнена при частичной поддержке государственных заданий Роспотребнадзора.

1. You W.W., et al. // Annal. Biochem. 1997. V. 244. P. 277–282.

## ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОЗДУХА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ КРИТИЧЕСКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ИНФЕКЦИИ С АЭРОЗОЛЯМИ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

Н.Ю. Шомовская, А.Р. Зайцев

ООО НПФ «Поток-Интер», г. Москва, Россия

[post@potok.com](mailto:post@potok.com)

Увеличение концентрации аэрозольных частиц в воздухе негативно сказывается на здоровье людей, прирост на  $10 \text{ мкг/м}^3$  частиц до  $2,5 \text{ мкм}$  увеличивает число госпитализаций и смертность пациентов с ХОБЛ. Частицы разного размера проникают в легкие на различную глубину, вызывают пневмонию, ХОБЛ и другие заболевания. Концентрация вирусных и бактериальных частиц также может коррелировать с концентрацией частиц биоаэрозоля до  $2,5 \text{ мкм}$ .

Для обеспечения безопасности и отсутствия возникновения внутрибольничных инфекций должны применяться не только средства удержания биоаэрозоля, но и его инактивации с возможностью применения в присутствии людей. Известны зарубежные исследования, показывающие комплексное влияние на бактериальные клетки ионов, постоянных электрических полей и радикалов, образующихся при коронном разряде. Накопление аэроионов на поверхностях микроорганизмов нарушает внутренний транспорт электронов и протонов. Матрикс плазматической мембраны может быть разрушен сильным внешним электрическим полем, что увеличивает трансмембранную проводимость, диффузионную проницаемость, приводит к лизису клеток. Помимо биоцидного действия ионов гибель клеток вызывается электропорацией.

Подобный механизм инактивации и тонкой фильтрации биоаэрозоля реализован в установках обеззараживания воздуха «ПОТОК» с помощью постоянных электрических полей критической напряженности. Инактивация происходит за счет ионизации микроорганизмов в зарядных камерах и на нановыступах электродов из пенометалла, а удержание инактивированных микроорганизмов и аэрозолей происходит на диэлектрических пластинах пенополиуретана. Эффективность фильтрации частиц 2,5 мкм превышает 99%, обеззараживания воздуха по ОМЧ составляет 98%.

## ALTERNATING PHOTOCHEMICAL AND DARK AGEING OF BIOMASS BURNING PLUMES IN THE LARGE AEROSOL CHAMBER (PHOTO-LAC)

O.B. Popovicheva<sup>1</sup>, H. Czech<sup>2</sup>, D. Chernov<sup>3</sup>, A.S. Kozlov<sup>4</sup>, V.P. Shmargunov<sup>3</sup>, R. Zimmermann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Department of Analytical and Technical Chemistry, University of Rostock, Rostock, Germany

<sup>3</sup>V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics (IAO), SB RAS, Tomsk, Russia

<sup>4</sup>Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion, SB RAS, Novosibirsk, Russia  
olga.popovicheva@gmail.com

Plumes from wildfires may be transported over large distances from remote to populated areas or threaten sensitive ecosystems. The Large Aerosol Chamber for photochemical ageing (PHOTO-LAC) was used to investigate the chemical composition of fresh and aged dense biomass burning aerosols. Equivalent particulate matter (ePM) and reactive gases O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub>, were monitored by a multi-angle / multi-wavelength nephelometer and gas analysers, respectively. Filter samples were collected on quartz fibre filter and analysed by Fourier-transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry (FT-ICR MS). We describe the effect of alternating photochemical and dark plume ageing of pine flaming and smouldering aerosol, resembling day- and night-time conditions over a total experimental duration of 30 h. The chemical composition of the flaming and smouldering aerosols changed during the entire ageing experiment by increasing elemental O : C and organic matter to organic carbon (OM/OC) ratio as well as decreasing aromaticity. OM/OC increased when ePM declined during first photochemical ageing, hence fragmentation reactions play a significant role. Secondary PM formation and increasing O-content, both well-known for ageing of BB aerosol, are apparently reduced compared to smog chamber experiments at levels closer to ambient PM [1], emphasising the need of laboratory plume ageing studies for a better understanding of the atmospheric fate of wildfire plumes.

1. Tiitta P., Leskinen A., Hao L., Yli-Pirilä P., Kortelainen M., Grigonyte J., Tissari J., Lamberg H., et al. // Atmos. Chem. Phys. 2016. V. 16, N 20. P. 13251–13269.

## ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОБИОМА АЭРОЗОЛЯ ВОЗДУХА, ОСАЖДЕННОГО В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ И ОТКРЫТОЙ ВОДЕ, В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

Е.М. Астахова, Т.В. Трегубчак, М.Е. Старчевская, А.А. Черемискина, А.С. Сафатов

ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия  
astahova\_em@vector.nsc.ru

Представлены результаты проведенных исследований биогенной составляющей атмосферного аэрозоля, аккумулятивной в снежном покрове, и ее возможное влияние на открытые зимние водные источники в зоне Арктического региона России Северо-Западного федерального округа.

Исследование разнообразия микроорганизмов, поступивших из воздуха на окружающий снежный покров и открытые зимние водные источники, проводили методом метабаркодинга, нацеленном на получение неизвестных геномных РНК и ДНК фрагментов. Обогащение методом ПЦР проводили с использованием

универсальных праймеров для бактерий, амёб и случайных праймеров, нацеленных на получение нуклеотидных последовательностей РНК-вирусов.

Отбор проб проводился в марте 2023 г. и включал: 5 образцов снега и 2 образца воды. Определены характерные нуклеотидные последовательности с использованием современного оборудования для расшифровки структуры нуклеиновых кислот (методом секвенирования нового поколения, прибор Illumina MiSeq). Проведен таксономический анализ полученных нуклеотидных последовательностей.

Сравнивались полученные ранней весной, до наступления таяния снежного покрова, следующие микробиологические характеристики: снега на разных уровнях накопления; снега с трех разных локаций Арктического Северо-Западного региона; воды из двух озер (первого – незамерзающего в течение зимнего периода за счет искусственного обогрева воды и второго – из регулярно очищаемой ото льда проруби для купания).

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2019-1665) и поддержке государственного задания Роспотребнадзора ГЗ 11/21.

## **БИОГЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ, АККУМУЛИРОВАННАЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ОЗЕРА**

**Е.М. Астахова, Т.В. Трегубчак, М.Е. Старчевская, А.С. Сафатов**

*ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия  
astahova\_em@vector.nsc.ru*

Представлены результаты исследований биогенной составляющей атмосферного аэрозоля, аккумулятивной в снежном покрове, и ее влияние на природный водный источник. Исследование проводили методом метабаркодинга, нацеленном на получение неизвестных геномных РНК и ДНК фрагментов. Оценивали разнообразие микроорганизмов, поступивших из воздуха на озере Сектинское Новосибирской области. Обогащение методом ПЦР проводили с использованием универсальных праймеров для бактерий, амёб и случайных праймеров, нацеленных на получение нуклеотидных последовательностей РНК-вирусов.

Отбор проб, проводившийся в апреле 2023 г., включал образцы свежеснегавшего снега, скопившегося за зимний сезон снега, льда и воды на прибрежном оттаявшем участке среди камышей. Произведено обогащение выделенной РНК и ДНК, определены характерные нуклеотидные последовательности микроорганизмов с использованием современного оборудования для расшифровки структуры нуклеиновых кислот (методом секвенирования нового поколения, прибор Illumina MiSeq). Проведен таксономический анализ полученных нуклеотидных последовательностей.

Проведено сравнение наблюдаемого разнообразия микроорганизмов из свежеснегавшего снега и шурфа, взятого на нескольких уровнях глубины снежного покрова; весеннего льда на границе снег/вода прибрежной зоны озера; воды на оттаявшем прибрежном участке среди камышей.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2019-1665) и поддержке государственного задания Роспотребнадзора ГЗ 11/21.

## **РТУТЬ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ И ОСАДКАХ В 2022–2023 гг. НА СТАНЦИИ ЛИСТВЯНКА (ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)**

**Е.С. Луцкин, М.Ю. Шиховцев, Е.В. Моложникова, В.А. Оболкин, О.И. Хуриганова**

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия  
Lutskin2000@mail.ru*

Работа посвящена изучению динамики содержания газообразной элементарной ртути в атмосферном воздухе, общей и растворенной ртути в атмосферных осадках. Измерения и отбор проб проводились на станции мониторинга «Листвянка» (51,9° с.ш.; 104,4° в.д.) в 2022–2023 гг. Концентрация ртути в воздухе измерялась монитором ртути РА-915АМ (г. Санкт-Петербург, Россия). Концентрация общей и растворенной ртути определялись по методике ПНД Ф 14.1:2:4.271-2012, метод А (перманганатная минерализация).

За период исследования концентрация газообразной элементарной ртути в атмосферном воздухе составила в среднем 1,60 нг/м<sup>3</sup>. С помощью проведенного статистического анализа показано наличие взаимосвязей между концентрациями газообразной элементарной ртути и другими малыми газовыми примесями. Значение коэффициента парной корреляции за весь период исследования составило 0,63 между Hg и SO<sub>2</sub>, 0,54 между Hg и NO<sub>2</sub>. При детальном рассмотрении каждого эпизода повышения ртути свыше 2,00 нг/м<sup>3</sup>,

длившегося более 2 ч, отмечена сильная положительная корреляция между концентрациями Hg, SO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> (в 11 эпизодах коэффициент корреляции был более 0,90). Для каждого значимого случая повышения концентрации ртути в атмосферном воздухе нами рассчитаны обратные траектории переноса воздушных масс (HYSPLIT). Траекторный анализ подтвердил предположение о едином типе источника ртути и малых газовых примесей в атмосфере западного побережья Южного Байкала.

Содержание общей ртути в атмосферных осадках варьировалось от 19 до 156 нг/л, средняя концентрация – 41 нг/л. Содержание растворенной ртути варьировалось от 1 до 19 нг/л, средняя концентрация – 3 нг/л.

Работа выполнена по теме государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014, «Исследование роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна оз. Байкал, идентификация источников загрязнения атмосферы».

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ

С.Л. Верхошенцева, О.В. Непомнящий, А.С. Ципотан

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия*  
*SLeshchenko@sfu-kras.ru*

Для обнаружения метана используют различные лазерные системы, учитывающие, что максимумы поглощения метана лежат в областях 1,6 и 3,3 мкм. Большинство предлагаемых методов основано на дифференциальном лазерном зондировании на близких генерируемых длинах волн, одна из которых хорошо поглощается метаном, а другая не поглощается. Принцип дифференциального поглощения (ДП) используется в рамках разработанных технических решений программно-аппаратного комплекса лидара и его управления. В основе этого принципа лежит явление резонансного поглощения лазерного излучения внутри контура линии поглощения исследуемого газа. В этом случае концентрация газа рассчитывается по сигналам пучка на двух близких частотах, одна из которых находится внутри линии поглощения, а другая – вне ее. Преимущества дифференциального метода заключаются еще и в том, что в этом случае значения аэрозоля и равны для обоих лучей в силу близости их длин волн, а также геометрического фактора приемной аппаратуры и могут быть учтены при численной обработке результатов измерений.

Исследование выполнено за счет средств РНФ (грант № 23-27-10035), Красноярского краевого фонда науки.

1. *Технологии* дистанционного лидарного зондирования поверхности для обнаружения малых концентраций углеводородов в Сибири и на Крайнем Севере / под ред. С.Л. Лещенко // Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия. XXV Международная конференция по промышленному производству и металлургии 18–19 июня 2020 г. Т. 966. Нижний Тагил, Россия.

## ОЦЕНКА РЕГИОНАЛЬНОГО БАЛАНСА ЭКОСИСТЕМНЫХ ПОТОКОВ УГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ХИМИКО-ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛЬЮ

Н.А. Головушкин<sup>1,2</sup>, И.Б. Коновалов<sup>1,2</sup>, Е.А. Мареев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

<sup>2</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Россия*  
*konov@ipfran.ru*

Эффективность мер, предпринимаемых на региональном уровне в целях реализации национальной стратегии по достижению углеродной нейтральности, зависит от наличия надежных оценок региональных объемов выделения и поглощения диоксида углерода. Перспективным источником данных для таких оценок, особенно в условиях отсутствия развитой сети наземного мониторинга экосистемных потоков, может стать космическое зондирование атмосферного содержания CO<sub>2</sub>.

В настоящей работе развита новая методика, предназначенная для получения региональных оценок экосистемных потоков углерода путем усвоения данных спутниковых измерений отношения смеси CO<sub>2</sub> (XCO<sub>2</sub>) региональной химико-транспортной моделью. В основе метода лежит байесовская оптимизация параметров известных полуэмпирических соотношений, описывающих экосистемные потоки углерода в зависимости

от спутниковых индексов растительности и метеорологических условий, а его важной особенностью является слабая чувствительность оптимальных оценок к возможным систематическим ошибкам в данных измерений и модельных расчетов  $\text{XCO}_2$ . Реализация метода осуществлена на основе использования химико-транспортной модели CHIMERE, сопряженной с метеорологической моделью WRF и моделью биосферных потоков VPRM, и данных измерений  $\text{XCO}_2$  со спутника OCO-2. Метод успешно апробирован путем его приложения к западноевропейскому региону, для которого имеются независимые достоверные оценки рассматриваемых потоков. Получены оценки суммарного поглощения и выделения углерода растительностью в Нижегородской области в теплый сезон 2021 г.

Исследование поддержано программой развития ННГУ Приоритет-2030 в рамках стратегического проекта «Комфортная окружающая среда».

## МОБИЛЬНЫЙ ЛИДАР ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ТРОПОСФЕРНОГО ОЗОНА И АЭРОЗОЛЯ

**А.А. Невзоров, А.В. Невзоров, Н.С. Кравцова, Я.О. Романовский, О.В. Харченко**

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

В рамках проекта РНФ создан и введен в эксплуатацию мобильный лидар для мониторинга тропосферного озона и аэрозоля на паре длин волн зондирования 299 и 341 нм. Приведено техническое описание мобильной лидарной системы. Выполнены измерения тропосферного озона и аэрозоля в высотном диапазоне от ~0,1 до 12 км. Представлены восстановленные профили озона и отношения рассеяния, полученные в 2022–2023 гг.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 21-79-10051).

## ЧЕРТЫ ГЕОХИМИИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА РЕКИ ОБИ

**В.П. Шевченко<sup>1</sup>, С.Н. Воробьев<sup>2</sup>, И.В. Крицков<sup>2</sup>, А.Г. Лим<sup>2</sup>, А.Н. Новигатский<sup>1</sup>,  
Д.П. Стародымова<sup>1</sup>, О.С. Покровский<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия*

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

<sup>3</sup>*Geosciences Environment Toulouse, UMR 5563 CNRS, University of Toulouse, France  
vshevch@ocean.ru*

В докладе обобщены результаты исследования черт геохимии снежного покрова водосборного бассейна реки Оби в 2014–2023 гг. Снег отбирали на субмеридиональных профилях от предгорий Алтая до устья Оби в конце зимнего периода в шурфах до замерзшей почвы или льда на озерах и реках в предварительно промытые (подготовленные в чистой комнате) полиэтиленовые пакеты и транспортировали в г. Томск при отрицательной температуре. В лаборатории снег растапливали и фильтровали через взвешенные ядерные лавсановые фильтры диаметром 47 мм с пораами 0,45 мкм. Состав частиц был изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SEM (Tescan) с микрозондовой приставкой INCA Energy (Oxford Instruments) и масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500.

Наши исследования демонстрируют значительный и ранее недооцененный вклад атмосферных поставок многих макро- и микроэлементов в их речные потоки во время весеннего половодья. Влияние накопившихся в снежном покрове элементов и соединений существенно увеличиваются к северу, в зоне замерзающих торфяных болот, что согласуется с уменьшением влияния литологического состава поверхности на химический состав речной воды в зоне вечной мерзлоты Западно-Сибирской низменности.

Авторы благодарны А.В. Сорочинскому, В.В. Дроздову, С.Н. Кирпотину, Р.М. Манасыпову, А.Г. Боеву принимавшим участие в экспедиционных и лабораторных исследованиях. Работы проводились при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50096\_Микромир).

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ИЗУЧЕНИИ СОСТАВА БИОАЭРОЗОЛЕЙ

А.Д. Мошкин<sup>1</sup>, О.В. Охлопкова<sup>1</sup>, А.А. Маслов<sup>2,3</sup>, И.С. Андреева<sup>1</sup>, Б.С. Малышев<sup>1</sup>,  
Т.В. Трегубчак<sup>1</sup>, А.С. Сафатов<sup>1</sup>, Б.Д. Белан<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

<sup>2</sup>ФГБНУ Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины,  
г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>ФГБНУ Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
moshkin\_ad@vector.nsc.ru

Мониторинг микроорганизмов в атмосферном воздухе имеет большое значение для поддержания здоровья населения и обнаружения потенциальных источников эпидемий или агентов биологической угрозы. В природных условиях в биоаэрозолях существуют различные виды микроорганизмов – грибы, бактерии, вирусы и др. В настоящее время стандартными микробиологическими методами исследования возможно охарактеризовать малую долю микроорганизмов, присутствующих в природных экосистемах. Секвенирование нуклеиновых кислот стало новым этапом в изучении микроорганизмов, не поддающихся культивированию в стандартных условиях.

Целью работы является изучение генетического материала в пробах атмосферного аэрозоля с применением современных методов метагеномного секвенирования.

Пробы аэрозоля были получены в процессе самолетного зондирования атмосферы, а также вблизи потенциальных источников патогенных микроорганизмов.

Анализ нуклеотидных последовательностей биологических компонентов, полученных из проб атмосферного аэрозоля, производился на платформе MiSeq Illumina. В результате идентификации последовательностей была получена информация о широком филогенетическом разнообразии микроорганизмов в исследуемых пробах.

Сравнение полученных результатов с литературными данными других групп исследователей указывает на различия в видовом разнообразии, при этом стоит отметить, что некоторые представители относятся к разным видам, но объединены в одно семейство. Вероятно, подобное расхождение связано с различием географии отбора проб. Накопление аналогичных данных в дальнейшем даст возможность отследить межгодовые и сезонные изменения разнообразия микроорганизмов в атмосфере.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Роспотребнадзора 11/21.

## ВЛИЯНИЕ ИНГАЛЯЦИИ МЕТАЛЛОКСИДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ НА СООТНОШЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И АММИАКА В ПРОБАХ ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

Б.Г. Агеев, О.Ю. Никифорова

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

В атмосферном воздухе присутствует огромное количество наноразмерных частиц как природного, так и антропогенного происхождения. Особенностью металлооксидных наночастиц является их способность проникать через клеточные мембраны и взаимодействовать с белковыми макромолекулами, возможно оказывая токсическое воздействие на организм [1]. Углекислый газ играет важную роль в метаболизме многих живых существ, известно, что концентрация углекислого газа в выдыхаемом воздухе свидетельствует о состоянии здоровья человека [2]. О состоянии организма может свидетельствовать также присутствие в выдыхаемом воздухе аммиака и ацетона [3]. В данной работе представлены результаты измерения концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$  в пробах воздуха из носа лабораторных животных до и после ингаляции нанопорошками феррита кобальта  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и диоксида олова  $\text{SnO}_2$ , а также проанализировано влияние ингаляции на соотношение концентраций этих газов. Концентрации определены по спектрам поглощения проб воздуха, зарегистрированным с помощью лазерного оптико-акустического (ОА) газоанализатора.

Установлено, что ингаляция наночастицами магнетита приводит как к снижению концентрации углекислого газа в пробах выдыхаемого воздуха лабораторных животных, так и к относительному уменьшению содержания  $\text{NH}_3$  по сравнению с  $\text{CO}_2$ , что может свидетельствовать о негативном влиянии такого воздействия.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Носарев А.В., Абраменко Е.Е., Капилевич Л.В., Дьякова Е.Ю., Селиванова В.С. // Бюллетень сибирской медицины 2014. Т. 13, № 1. С. 62–66.
2. Кузнецов В.И., Тараканов С.А., Рыжаков Н.И., Коган В.Т., Козленок А.В., Рассадина А.А. // Вестник новых медицинских технологий. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4167.pdf>.
3. Mitrayana D., Nikita J.G., Wasono M.A.J., Satriawan M. // Sensing and Bio-Sensing Research. 2020. V. 30. 100387.

## **ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННЫХ МАССОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ НА ПРОЦЕСС ФОТОСИНТЕЗА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ**

**П.Г. Мордовской, Т.Х. Максимов, М.Р. Григорьев, Е.В. Старостин, А.А. Неустроев**

*Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Россия  
mordovskoi@gp@yandex.ru*

Черный углерод характеризуется способностью поглощать солнечную радиацию и относительно недолговременным периодом осаждения. Основным источником черного углерода в атмосфере Центральной Якутии являются природные пожары. Цель исследования – выявление влияния различных уровней концентрации черного углерода на процесс фотосинтеза березы повислой. Мониторинг массовой концентрации черного углерода и фотосинтеза проводился на лесной научной станции «Спасская падь». Установлено, что длительные высокие концентрации черного углерода в атмосфере оказывает стрессовое воздействие на березу повислую. Негативное воздействие ЧУ на процесс фотосинтеза березы повислой обусловлено значительным снижением фотосинтетически активной радиации, которая наряду с водой и углекислым газом, является важным условием фотосинтеза.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОВЫШЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ В ШЛЕЙФАХ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ**

**Г.А. Колотков**

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

Статья посвящена исследованию возможностей УВЧ-радиометра (ультравысокие частоты), планируемого использовать для дистанционного детектирования повышенного уровня радиоактивности выбросов АЭС на быстрых нейтронах. Решение данной задачи весьма актуально в связи с недавним введением в эксплуатацию и строительством новых реакторов на быстрых нейтронах, в том числе и в связи с большим количеством аварий на предприятиях ЯТЦ. Проведен количественный анализ радиоактивных выбросов БАЭС на реакторах на быстрых нейтронах и приведены технические характеристики радиометрической системы. Исследованы физико-химические взаимодействия выброшенных радионуклидов и компонентов атмосферы. Определены максимальные расстояния, на которых могут быть зарегистрированы газоаэрозольные радиоактивные выбросы БАЭС на реакторах на быстрых нейтронах в диапазоне частот 1,4–1,8 ГГц в режиме реального времени.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

# ГЕНЕРАЦИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И СТОК АЭРОЗОЛЯ

## АЭРОЗОЛЬ ПРОТИВОГРИБКОВОГО ВЕЩЕСТВА ФЛУКОНАЗОЛА: ГЕНЕРАЦИЯ, ИНГАЛЯЦИОННАЯ ДОСТАВКА

А.А. Протасов, А.М. Бакланов, А.А. Алексеев, С.В. Валиулин

*Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
protasov\_arseniy@mail.ru*

Одним из возможных путей преодоления резистентности при терапии бактериальных или грибковых инфекций является адресная доставка лекарственных средств для создания высокой локальной концентрации в пораженном органе. В случае инфекций дыхательных путей такая адресная доставка возможно путем ингаляции аэрозольных частиц лекарственного препарата.

Настоящая работа посвящена разработке метода генерации аэрозольных частиц противогрибкового вещества флуконазола и его ингаляционной доставке лабораторным мышам.

Генерация аэрозоля осуществлялась методом ультразвукового распыления раствора с последующим осушением образующихся капель, что позволило получить твердые частицы действующего вещества. Измерение концентрации и размера образующихся аэрозольных частиц проводили с помощью оптического спектрометра аэрозоля ОСА и диффузионного спектрометра аэрозоля ДСА. Получен аэрозоль с размером частиц от 1 до 2 мкм и средней счетной концентрацией  $70000 \pm 6500 \text{ см}^{-3}$ . Такие параметры аэрозоля позволяют доставлять ингаляционно за 20 мин дозу в интервале от 0,7 до 7 мг/кг флуконазола.

Проведено исследование фармакокинетики при ингаляционной доставке флуконазола лабораторным мышам. Доставка аэрозоля лабораторным мышам осуществлялась в ингаляционную камеру типа «nose-only». Показана высокая биодоступность вещества ~90% при его аэрозольной доставке.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 19-73-10143, <https://rscf.ru/project/19-73-10143>).

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КАПЕЛЬ НА КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖИДКО-КАПЕЛЬНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО ОБЛАКА

В.А. Архипов, С.А. Басалаев, К.Г. Перфильева, С.Н. Поленчук, И.В. Романдин, А.С. Усанина

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия  
tarm12376@gmail.com*

Процесс гравитационного осаждения жидко-капельного аэрозольного облака встречается в природе, в различных технических системах и технологических процессах. В частности, при образовании атмосферных осадков, орошении сельскохозяйственных культур, авиационном пожаротушении, аварийном сбросе авиационного топлива и отделении отработанных ступеней ракет-носителей. На закономерности осаждения облака капель в атмосфере значительное влияние оказывает начальная объемная концентрация и размер капель. Одним из основных вопросов при моделировании гравитационного осаждения жидко-капельного аэрозольного облака является определение граничных значений начальной объемной концентрации капель в облаке, определяющей режимы осаждения непродуваемого, частично продуваемого и продуваемого облака.

В работе представлены методика и результаты экспериментального исследования влияния начальной объемной концентрации капель на коэффициент аэродинамического сопротивления жидко-капельного аэрозольного облака, входящего в уравнение движения частиц в потоке несущей среде. Определено, что по мере увеличения начальной объемной концентрации капель в аэрозольном облаке происходит снижение среднего расстояния между каплями в облаке в процессе осаждения, что приводит к уменьшению коэффициента аэродинамического сопротивления и увеличению скорости осаждения.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 22-19-00307, <https://rscf.ru/project/22-19-00307>).

## ПЛОТНОСТЬ ОРОШЕНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СБРОСЕ ЖИДКО-КАПЕЛЬНОГО АЭРОЗОЛЯ

**В.А. Архипов, К.В. Костюшин, О.В. Матвиенко, К.Г. Перфильева**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия  
k.g.perfiljeva@yandex.ru*

Во всем мире каждый год возникает большое количество лесных пожаров. Для их ликвидации, особенно в труднодоступных местах, одним из основных способов является применение авиации. В настоящее время сброс хладагента в очаг пожара из водосливного устройства (ВСУ) с борта летательного аппарата производится на усмотрения пилота и зависит от его навыков и задымленность области сброса. Это влияет на качество процесса пожаротушения и приводит к увеличению количества дорогостоящих вылетов. Для повышения эффективности авиационного пожаротушения необходимо разработать физико-математическую модель, которая позволит определять оптимальные параметры сброса хладагента из ВСУ летательного аппарата в очаг пожара с учетом реальных условий. Данная модель должна включать закономерности генерации, эволюции и гравитационного осаждения кластера капель, а также его взаимодействия с высокотемпературной газовой средой и очагом пожара.

В работе представлена физико-математическая модель и результаты параметрических расчетов эволюции кластера капель, образующемся при гравитационном осаждении хладагента в очаг пожара с борта летательного аппарата. Проведен анализ влияния скорости и направления ветра, радиуса зоны горения (конвективная колонка), высоты и расстояния от центра масс первичного жидко-капельного облака до очага пожара, а также гранулометрического распределения капель в кластере.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 22-19-00307, <https://rscf.ru/project/22-19-00307>).

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОПЕСЧАНОГО ПОТОКА

**А.В. Карпов, Г.И. Горчаков, Р.А. Гуцин, О.И. Даценко, Д.В. Бунтов**

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

Создан аппаратный комплекс для синхронных измерений вертикальных турбулентных потоков пылевого аэрозоля на двух уровнях корреляционным методом. Получены оценки скорости выноса аэрозоля. Проанализировано влияние выбора времени осреднения при оценке потоков аэрозоля в конвективных условиях. Выполнено исследование короткопериодической изменчивости суммарной концентрации и микроструктуры пылевого аэрозоля по данным измерений в 2021 г. на опустыненной территории. Представлены результаты статистического анализа вариаций электрических характеристик [1, 2] ветропесчаного потока. Подготовлены аппаратные автоматизированные комплексы для измерения на опустыненных территориях напряженности электрического поля и электрических токов, возникающих при переносе заряженных частиц пылевого аэрозоля на трех уровнях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-17-00214).

1. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В. Электризация ветропесчаного потока на опустыненных территориях // Докл. РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 505, № 1. С. 89–94.
2. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В. Пылевая плазма ветропесчаного потока на опустыненных территориях // Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. 2022. Т. 58, № 5. С. 543–553.

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЖНЕГО СЛОЯ САЛЬТАЦИИ

**Р.А. Гуцин, Г.И. Горчаков, А.В. Карпов, О.И. Даценко**

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

Проанализированы результаты измерений вертикальных распределений концентраций и потоков сальтирующих частиц в полевых условиях и в ветровых каналах. Получена эмпирическая модель вертикального распределения суммарной концентрации для различных значений скорости ветра в приземном слое атмосферы. Показано, что в нижнем слое сальтации логарифмический градиент не зависит от скорости ветра. По данным измерений на опустыненной территории в Астраханской обл. определена толщина нижнего слоя сальтации. Получена зависимость от скорости ветра логарифмического градиента концентрации в верхнем слое сальтации. С использованием представленных в работе [1] результатов получены зависимости

от среднего размера сальтирующих частиц толщины нижнего слоя сальтации и логарифмического градиента концентрации в нижнем слое сальтации. Показано, что полученные зависимости согласуются с результатами наших измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 20-17-00214).

1. *Dong Z., Qian G.* Characterizing the height profile of the flux of wind-eroded sediment // *Environ. Geol.* 2007. V. 51. P. 835–845.

## СОПОСТАВЛЕНИЕ ПОТОКОВ ТЕПЛА И АЭРОЗОЛЯ НА ОПУСТЫНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ В УСЛОВИЯХ ЯЧЕЙКОВОЙ КОНВЕКЦИИ

**Г.И. Горчаков, О.Г. Чхетиани, А.В. Карпов, Р.А. Гушин, О.И. Даценко**

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

1. Представлены результаты исследований временной изменчивости турбулентных и конвективных потоков аэрозоля на опустыненной территории при квазипериодической эмиссии пылевого аэрозоля. Определены скорости выноса пылевого аэрозоля в восходящих ячейках крупномасштабной циркуляции регулярными движениями и турбулентными пульсациями вертикальной компоненты скорости ветра.

2. Показано, что внутри нисходящих ячеек наблюдаются короткие всплески повышенной концентрации пылевого аэрозоля, обусловленные нерегулярными конвективными движениями с масштабами порядка минуты.

3. Проанализированы спектры вариаций компонент скорости ветра и температуры воздуха. Показано, что конвективные масштабы горизонтальных и вертикальных компонент скорости ветра заметно различаются.

4. Установлено, что в условиях ячейковой конвекции вертикальный турбулентный перенос тепла происходит как в восходящих, так и в нисходящих ячейках, что обусловлено широким диапазоном изменчивости вертикальной компоненты скорости ветра в конвективных условиях.

5. С использованием перенормировки турбулентных потоков тепла и аэрозоля выполнено сопоставление соответствующих скоростей выноса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 20-17-00214).

1. *Горчаков Г.И., Чхетиани О.Г., Карпов А.В., Гушин Р.А., Даценко О.И.* Квазипериодическая эмиссия пылевого аэрозоля на опустыненной территории // *Метеорол. и гидрол.* 2023. № 8. С. 62–72.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ЭЛЕМЕНТЕ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА, НАХОДЯЩЕМСЯ ВО ФРОНТЕ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

**В.А. Вяткина, Н.В. Барановский**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия  
vak61@tpu.ru*

Лесные пожары приводят к выделению в атмосферу большого количества загрязняющих веществ. Особое внимание в этом контексте уделяют углеродистым частицам сажи. Попадая в атмосферный воздух, такие частицы могут перемещаться на дальние расстояния, на населенные людьми территории. Дымовые или сажевые частицы оказывают воздействие, которое может привести к развитию кардиореспираторных заболеваний [1], а также к смертельному исходу [2]. В связи с этим необходимо изучать закономерности процессов тепло- и массопереноса, протекающих в элементе лесного горючего материала при воздействии фронта лесного пожара. Цель данного исследования – математическое моделирование теплопереноса в элементе типичного лесного горючего материала с учетом термического разложения сухого органического вещества и образования сажевых частиц.

Процессы теплопереноса в образце описывались нелинейными нестационарными дифференциальными уравнениями теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями. В результате получены распределения температуры и фракций различных компонентов по толщине листа с течением времени для различных сценариев развития лесного пожара. Представленные результаты могут быть использованы для визуализации информации при прогнозе и оценке лесной пожарной опасности.

1. *Invally M., Kaur G., Kaur G., Bhullar S.K., Buttar H.S.* // *World Heart Journal.* 2017. V. 57, N 2. P. 303–317.
2. *Borchers-Arriagada N., Palmer A.J., Bowman D.M.J.S., Williamson G.J., Johnston F.H.* // *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020. V. 17, N 9. P. 3264.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЯДЕР КОНДЕНСАЦИИ В СХЕМЕ НУКЛЕАЦИИ ОБЛАЧНЫХ КАПЕЛЬ СИГАЛА-ХАИНА НА ПРОГНОЗ ВОДОСОДЕРЖАНИЯ ОБЛАКОВ МОДЕЛИ ICON

Ю.О. Шувалова<sup>1,2</sup>, Н.Е. Чубарова<sup>2</sup>, М.В. Шатунова<sup>1</sup>, Г.С. Ривин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

shuvalova@mecom.ru, chubarova@geogr.msu.ru, shatunova@mecom.ru, gdaly.rivin@mecom.ru

Содержание аэрозоля в атмосфере имеет определяющее значение при моделировании структуры облачности и осадков в численном прогнозе погоды. В работе рассмотрено влияние концентрации ядер конденсации на прогноз водосодержания облаков в двухмоментной микрофизической схеме конфигурации ICON-Ru модели ICON. Для анализа результатов использованы измерения наземной сети Cloudnet (<https://cloudnet.fmi.fi>) и спектрорадиометра MODIS (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>), а также проведены восстановления концентраций облачных капель на основе спутниковых данных. Анализ облачных характеристик ICON-Ru с измерениями MODIS проводился с помощью системы верификации MET (Model Evaluation Tool, <https://met.readthedocs.io>).

Показано, что в модели ICON наблюдается сниженная интенсивность нуклеации облачных капель, в том числе из-за неучета подсеточной компоненты вертикальной скорости в двухмоментной микрофизической схеме модели. Приведен анализ причин низкого водосодержания облаков в конфигурации по сравнению с данными наблюдений и представлена параметризация подсеточной вертикальной скорости для двухмоментной микрофизической схемы конфигурации ICON-Ru.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (мегагрант № 075-15-2021-574). Доработка двухмоментной микрофизической схемы конфигурации ICON-Ru и применение системы верификации MET проведена в рамках Научно-исследовательской работы Росгидромета АААА-А20-120021490079-3.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ МОРЕЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА К ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ГАЗООБМЕНА

В.В. Малахова, М.В. Крайнева

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

Деградация и увеличения проницаемости подводной мерзлоты, высвобождение газа из газогидратов на арктическом шельфе приводят к усилению эмиссии метана в атмосферу. Оценки потоков метана с шельфа Северного Ледовитого океана, основанные на натурных измерениях, характеризуются высокой неопределенностью [1].

Представленные в работе оценки основаны на результатах численного моделирования переноса метана в морях Арктики. Модель переноса растворенного метана включена в модель океана и морского льда SibCIOM, [2]. Проведен анализ чувствительности модели к параметризации процессов газообмена на поверхности моря. Для расчета потока метана в атмосферу используются различные параметризации процесса газообмена в системе «вода–атмосфера» и «вода–лед–атмосфера». Различия в оценках годовой эмиссии метана при различных зависимостях коэффициента газообмена от ветра составили 6–12% в зависимости от рассматриваемого периода. Более выраженное влияние при расчете потока метана оказывает схема учета ледового покрова. Неопределенность в этом случае составила 50–130%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-11-20112).

1. Thornton B.F., Geibel M.C., Crill P.M., Humborg C., Mörth C.-M. Methane fluxes from the sea to the atmosphere across the Siberian shelf seas // *Geophys. Res. Lett.* 2016. V. 43. P. 5869–5877.
2. Malakhova V., Golubeva E. Model study of the effects of climate change on the methane emissions on the Arctic Shelves // *Atmosphere.* 2022. V. 13. P. 274.

## ОПАСНЫЕ ПОГОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

О.Г. Хуторова, М.В. Маслова, В.Е. Хуторов

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

Мониторинг атмосферы с помощью глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) обычно используют для оценки интегрального влагосодержания атмосферы. Кроме того, с высоким временным разрешением измеряются такие параметры как зенитная тропосферная задержка спутниковых радиосигналов и ее градиентные параметры, характеризующие атмосферные горизонтальные неоднородности. В работе ставится задача выявить характерную изменчивость зенитной тропосферной задержки ГНСС-сигналов, ее зонального и меридионального градиентов и интегрального влагосодержания, связанную с опасными конвективными явлениями. По информации СМИ и открытых баз данных произведена выборка событий опасных конвективных явлений, соответствующих имеющимся наблюдениям ближайших ГНСС-станций в г. Казани и республике Татарстан. Расчет рядов зенитной тропосферной задержки, ее градиентных параметров, интегрального влагосодержания оценивался за период 2009–2022 гг. с шагом 5 мин. В этих данных мониторинга ищутся синхронные или квазисинхронные опасным явлениям флуктуации данных мониторинга, не характерные для спокойных условий.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 23-27-00222, <https://rscf.ru/project/23-27-00222>, проект № 23-27-00222).

## СПЕКТР ИЗОТОПОЛОГА $^{15}\text{N}^{17}\text{O}$ В ОБЛАСТИ 1,86 мкм

Ю.Г. Борков, О.Н. Сулакшина, В.И. Сердюков, Л.Н. Синица

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

Впервые зарегистрирован и проанализирован спектр молекулы  $^{15}\text{N}^{17}\text{O}$  в области 1,86 мкм. В результате анализа было обнаружено колебательно-вращательные линии, представляющие  $\Lambda$ -дублеты в полосе 3–0 основных переходов между электронными состояниями  $^2\Pi_{1/2}$  и  $^2\Pi_{3/2}$ . Частоты зарегистрированных переходов позволили определить спектроскопические постоянные для колебательного состояния  $v = 3$  рассматриваемого изотополога.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЛЕНА

А.И. Крылова<sup>1</sup>, Н.А. Лаптева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*ФБУН ГИЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия  
alla@climate.sccc.ru*

Для моделирования термического режима р. Лена используется модельная структура, включающая концептуальную модель для расчета речного стока и уравнение адвекции тепла для оценки температуры воды с суточным временным шагом. Данный подход к моделированию позволит получить оценки речного стока и температуры воды в течении длительных периодов времени, необходимых для изучения влияния изменений климата и антропогенных воздействий (плотин и регулирования водохранилищ) на крупные реки. В данной работе модельная структура тестируется для среднего течения р. Лена. Для решения уравнения адвекции тепла применяется безусловно устойчивая схема «бегущего» счета первого порядка. В качестве метеорологической информации рассматриваются данные реанализа MERRA за период с 1980–2011 гг. Для расчета полного потока тепла через свободную поверхность используются данные с сайта [www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru).

Работа выполнена при поддержке государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект № 0251-2022-0003).

## ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ СДВИГОВ ВЕТРА В НИЖНЕМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ

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

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

В докладе представлены результаты анализа экспериментальных данных по сдвигам скорости ветра в нижнем слое атмосферы в условиях температурных инверсий. Использовались экспериментальные данные за период 2020–2022 гг., полученные на территории Базового экспериментального комплекса ИОА СО РАН в пригороде Томска с помощью акустического метеорологического локатора (содара) «Волна-4М», температурного профилемера МТР-5 и ультразвуковой метеостанции «Метео-2» (на высоте 10 м). Основное внимание уделено случаям инверсий с большим, порядка 10 °С и более перепадом температур между границами инверсий (интенсивность инверсий). Основная цель работы заключалась в оценке взаимосвязей сдвига ветра (разность скоростей ветра между уровнем 10 м и более высокими уровнями) с интенсивностью инверсий.

## ОСОБЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОСТИ В СЛОЖНЫХ ОРОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

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

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

Представлены результаты предварительного анализа экспериментальных данных об основных метеорологических величинах (температуре, скорости и направлении ветра) и некоторых характеристиках турбулентности (кинетическая энергия, масштабы турбулентности и др.), полученных в сложных орографических условиях – на краю карьера кимберлитовой трубки «Мир» (г. Мирный, Саха–Якутия). Измерения проводились с использованием ультразвуковой метеостанции «Метео-2» на высоте 10 м от уровня подстилающей поверхности в период с 1 июня по 31 августа 2023 г. Пункт измерения расположен примерно в 100 м от края карьера (с северо-западной стороны). Рассмотрено возможное влияние карьера (глубиной порядка 500 м и шириной 1000 м; в настоящее время частично залит водой) на измеренные величины. Полученные результаты могут быть полезны при изучении процессов перераспределения аэрозольных и газовых загрязнений в условиях действующих карьеров.

## ПРЯМОЕ И ОБРАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

В.В. Пененко, Е.А. Цветова

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

Методика, разработанная и использованная авторами для решения атмосферных задач [1], приспособлена для аналогичных постановок водных проблем. Новая версия алгоритмов основана на имеющихся трехмерных моделях гидродинамики и распространения примесей в озере (см., например, [2]). С помощью разработанного комплекса алгоритмов и программ, выполнены исследования, которые базируются на применении методов прямого и обратного моделирования в рамках сценарного подхода. В частности, рассматриваются вопросы информативности наблюдательных экспериментов во время маршрутных экспедиционных работ. Исходя из целей эксперимента, для математической постановки формулируется совокупность специальных функционалов качества и по ним методами теории чувствительности моделей оценивается информативность системы мониторинга. При этом используются решения прямых и сопряженных задач для упомянутых математических моделей. Среди представленных сценариев будут рассмотрены и сравнены версии как имеющихся примеров систем мониторинга в «кругобайкальских» экспедициях, так и другие гипотетические варианты. Методика предназначена для совместного использования моделей и данных наблюдений в озере с целью изучения гидрофизических процессов и оценке качества воды.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИВМиМГ СО РАН 0251-2021-0003.

1. Пененко В.В., Цветова Е.А. Об оценке информативности наблюдательных экспериментов // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 649–655.
2. Tsvetova E.A. Hypothetical scenarios of microplastics propagation in Lake Baikal // SPIE. 2023 (в печати).

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПО г. ТОМСКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ WRF**

**А.А. Барт, А.В. Старченко, Е.А. Стребкова**

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

Неблагоприятные метеорологические условия (НМУ) – метеорологические условия, способствующие накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха (Федеральный закон от 26.07.2019 г. № 195-ФЗ). Формирование НМУ, как правило, связано с географическим положением города и техногенными факторами, чаще всего такое явление наблюдается при дымках и туманах, в безветренную погоду, при образовании задерживающих слоев инверсии температуры. Повышенное загрязнение атмосферного воздуха, вызванное НМУ, способствует обострению сердечно-сосудистых, легочных и прочих хронических заболеваний, поэтому важно своевременно прогнозировать такие явления и информировать о них население.

Данная работа направлена на детальное исследование метеорологических ситуаций в феврале 2023 г., для которых были объявлены НМУ 1-й степени опасности – с 13:00 10.02.23 г. до 13:00 12.02.23 г.; с 18:00 3.02.23 г. до 15:00 6.02.23 г.; с 14:00 2.02.23 г. до 18:00 3.02.23 г. (время местное), с помощью методов численного моделирования. Для области, соответствующей городу Томску, на основе данных реанализа NCEP GFS 0.25 degree (ds084.1), были выполнены расчеты по модели WRF версии 4.4.2. для 1–14 февраля. Исследовалось изменение температуры и скорости ветра (как горизонтальной, так и вертикальной) с высотой для выявления слоев инверсии и промежутков слабоветренной погоды.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## **ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАССЕЙВАНИЯ ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫСОТЫ ИСТОЧНИКА**

**Э.А. Пьянова**

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

В работе представлены результаты сценарного моделирования атмосферного мезомасштабного переноса пассивных примесей от источников различной высоты и локализации при различных условиях устойчивости атмосферы. Расчеты проводилось для атмосферы модельной котловины. Исследовались условия накопления и рассеивания выбросов в такой форме рельефа. Разновысокие источники имитировали выбросы автотранспорта, котельных, ТЭЦ. Моделирование выполнено на основе трехмерной негидростатической модели динамики атмосферы и переноса примесей, разрабатываемой в ИВМиМГ СО РАН.

Работа, в части разработки базовых моделей и алгоритмов, выполняется в рамках темы государственно задания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0003.

## **РАССЕЙВАНИЕ ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ ОТ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА НАД ТЕРМИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

**Л.И. Курбаская**

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

Представлены результаты компьютерного моделирования рассеяния пассивной примеси в условиях устойчиво стратифицированной окружающей среды над термически неоднородной поверхностью с помощью эйлеровой модели атмосферной диффузии, построенной на основе базовой трехпараметрической (RANS) модели турбулентного атмосферного пограничного слоя и включающей уравнения для осредненной концентрации, вектора турбулентного потока примеси, корреляции между флуктуациями концентрации и температуры [1]. Для вектора турбулентного потока примеси сформулирована полностью явная анизотропная алгебраическая модель градиентного типа. Модель применена для вычисления рассеяния пассивной примеси в простом двумерном тесте моделирования эволюции атмосферного пограничного слоя в течение суток.

Горизонтальная протяженность области равна 121 и 4 км по вертикали. Нижняя граница области включает остров тепла (условно город), расположенный в центре и разделенный холодным водным объектом (условно река) на две части, и территории, прилегающие к острову тепла (условно сельская местность). Размеры острова тепла с водным объектом составляют 16 км, из них 3 км занимает водный объект. Непрерывный поверхностный источник пассивной примеси над островом тепла задается на высоте первого расчетного узла по вертикали.

Полученные результаты дают представление как о формировании крупномасштабной турбулентной циркуляции над термически неоднородной поверхностью, так о роли эффектов плавучести на распределение средней концентрации примеси, турбулентных потоков тепла, высоту инверсии в течение суточной эволюции атмосферного пограничного слоя. Показано, что модель воспроизводит проникновение пассивной примеси из слоя перемешивания в инверсионный слой.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (№ 0251-2021-0003).

1. Курбацкая Л.И., Курбацкий А.Ф. // Оптика атмосф. и океана. 2017. Т. 30, № 6. С. 524–528.

## **МНОГОЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ ХАРАКТЕРИСТИК ДНЕВНОЙ И НОЧНОЙ ОБЛАЧНОСТИ В ЛЕТНЕЕ И ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ НАД ЗАПАДНОЙ СИБИРЬЮ ПО ДАННЫМ MODIS**

**К.В. Курьянович, А.В. Скорыходов, В.Г. Астафуров**

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

Западная Сибирь является одним из регионов-маркеров, для которых наблюдаются наиболее существенные климатические изменения за последние десятилетия. В частности, здесь регистрируется непрерывное увеличение числа температурных аномалий, обусловленное изменением режима общей циркуляции атмосферы, вызванного, в том числе и сокращением площади многолетнего морского льда в Арктике. Облака же являются своеобразным маркером различных процессов, происходящих в системе «атмосфера – океан – суша». Поэтому изучение режима облачности и его изменчивости над целевым регионом позволит более детально оценивать последствия климатических изменений.

В докладе представлены результаты анализа многолетней изменчивости характеристик дневной и ночной облачности в летнее и зимнее время над Западной Сибирью по спутниковым данным MODIS, полученным за период 2001–2022 гг. С целью более детального изучения режима облаков рассматриваются отдельно три широтные зоны целевого региона: северная, переходная и южная. Основным источником информации служат тематические продукты спутниковой съемки MOD08\_M3 и MYD08\_M3 с пространственным разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$ , содержащие среднемесячные значения следующих параметров облачности: доля покрытия ею подстилающей поверхности, температура, высота и давление на ее верхней границе, а также ее эффективная излучательная способность. Обсуждаются результаты анализа временных рядов и аномальные выбросы для рассматриваемых характеристик облаков путем их сопоставления с материалами ежегодных оценочных докладов Росгидромета, а также с изменчивостью некоторых климатических переменных, например, температуры подстилающей поверхности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## **СТОХАСТИЧЕСКИЙ «ГЕНЕРАТОР ПОГОДЫ» ДЛЯ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ**

**М.С. Акентьева, Н.А. Каргаполова, В.А. Огородников**

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

В докладе будет представлена численная стохастическая модель пространственно-временного поля комплекса метеорологических параметров на сети метеостанций, расположенных на Байкальской природной территории и в прилегающих к ней районах. Модель позволяет строить реализации совместных полей приземной температуры воздуха, скорости ветра и балла облачности с трехчасовым разрешением и поля полусуточных осадков. Благодаря специальному выбору входных параметров в модели учтены суточный ход реальных метеопроцессов и их пространственная неоднородность.

Особое внимание в докладе будет уделено специфике используемых алгоритмов моделирования, связанных с большой размерностью моделируемых процессов, их пространственно-временной изменчивостью и тем фактом, что часть моделируемых процессов рассматривается как случайные процессы с непрерывным

множеством значений, а часть – с дискретным. Отдельно будут обсуждаться вопросы, связанные с численной реализацией представленного «генератора погоды» на суперкомпьютере (для проведения расчетов использовались ресурсы Сибирского суперкомпьютерного центра ИВМиМГ СО РАН).

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории»).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СО ИЗ АТМОСФЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ СПЕКТРОВ В БЛИЖНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ

Т.Ю. Чеснокова<sup>1</sup>, А.В. Ченцов<sup>1</sup>, К.Г. Грибанов<sup>2</sup>, И.В. Задворных<sup>2</sup>, В.И. Захаров<sup>2</sup>

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

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

ches@iao.ru, cav@iao.ru, kgribanov@remotesensing.ru, ilyazadvornyh@gmail.com, v.zakharov@remotesensing.ru

Монооксид углерода СО является газом-маркером сжигания биомассы и антропогенного загрязнения. Для измерений содержания СО используются атмосферные спектры в тепловом и ближнем ИК-диапазонах. Например, на спутниковых радиометрах MORITT регистрируются две полосы поглощения СО 2,3 и 4,6 мкм. Прибор TROPOMI, расположенный на европейском спутнике Sentinel, измеряет в полосе 2,3 мкм. Наземные измерения на спектрометрах с высоким спектральным разрешением в этих же полосах поглощения дополняют спутниковые измерения и используются для валидации спутниковых данных. Проведено моделирование атмосферного пропускания СО на наклонных трассах через всю атмосферу в полосе поглощения СО 2,3 мкм ближнего ИК-диапазона с использованием новых версий спектроскопических баз данных HITRAN2020, GEISA2020 и ATM и сделано сравнение с атмосферными солнечными спектрами, измеренными на наземном Фурье-спектрометре. Определено общее содержание СО в столбе атмосферы из измеренных солнечных спектров и показано, что различие в результатах определения общего содержания СО за счет использования разных спектроскопических данных может достигать 5%.

Исследования Т.Ю. Чесноковой, А.В. Ченцова выполнены при финансовой поддержке в рамках государственного задания ИОА СО РАН. Работы К.Г. Грибанова, И.В. Задворных, В.И. Захарова поддержаны Министерством высшего образования и науки РФ (проект № FEUZ-2023-0023).

## ЭМПИРИЧЕСКИЕ СПИСКИ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ

К.К. Шарыбкина

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

shk@iao.ru

Диоксид серы присутствует в земной атмосфере как природный компонент, возникающий в результате вулканической активности, так и как антропогенный загрязнитель в результате сжигания ископаемого топлива [1, 2]. Для решения задач лазерного зондирования атмосферы, дистанционного мониторинга сернистого газа и определения его концентрации необходима информация о тонкой структуре инфракрасных спектров поглощения SO<sub>2</sub> в различных спектральных диапазонах. В данной работе представлен эмпирический список колебательно-вращательных переходов молекулы <sup>34</sup>SO<sub>2</sub> в широком спектральном диапазоне 0–4000 см<sup>-1</sup>, а также дополнен относительно [3] эмпирический список переходов молекулы <sup>32</sup>SO<sub>2</sub>. Центры линий в эмпирическом списке определены из высокоточных экспериментальных и предсказанных по методу эффективного гамильтониана уровней энергии, а интенсивности взяты из вариационного расчета [4].

1. Smale D., Hannigan J.W., Lad S., Murphy M., McGaw J., Robinson J. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2023. V. 307.
2. Потемкин В. Л., Макухин В.Л. // Оптика атмосфер и океана. 2008. Т. 21, № 2. С. 154–157.
3. Василенко И.А., Науменко О.В., Horneman V.-M. // Оптика атмосфер и океана. 2023. Т. 36, № 1. С. 5–11.
4. Underwood D., Tennyson J., Yurchenko S., Huang X., Schwenke D., Lee T., Clausen S., Fateev A. // Mon. Not. Royal Astron. Soc. 2016. V. 459. P. 3890–3899.

## ОБРАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ОПЕРАТОРОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА И ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ

А.В. Пененко<sup>1,2</sup>, Е.В. Русин<sup>1,2</sup>, М.К. Емельянов<sup>1,3</sup>, В.В. Пененко<sup>1</sup>, Е.А. Цветова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

<sup>3</sup>Новосибирский государственный университет, Россия

Трехмерные модели переноса и трансформации примеси позволяют реалистично моделировать процессы в атмосфере, но вместе с тем требуют задания большого количества априорной информации и существенных вычислительных ресурсов, особенно в режиме обратного моделирования (в частности, для идентификации источников выбросов по данным наблюдений). Для решения задач обратного моделирования с трехмерными моделями используется подход на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений, реализованный в системе IMDAF для машин с распределенной памятью [1]. В частности, трехмерные модели важны при интерпретации данных дистанционного зондирования. Кроме того, для описания таких данных часто используются нелинейные операторы измерений, которые связывают результаты измерений с модельными переменными. Для этого в рамках IMDAF был реализован учет нелинейных операторов измерений. Благодаря свойствам операторов чувствительности, позволяющим предварительно оценивать результат идентификации, для данных типа изображений на основе методов машинного обучения реализован алгоритм по уточнению результатов обратного моделирования в части учета априорной информации о типе источников.

Работа выполнена при поддержке темы госзадания 0251-2021-0003 ИВМиМГ СО РАН (в части трехмерной модели), темы госзадания FENG-2023-0004 (в части нелинейных измерений) и проекта 075-15-2020-787 (в части разработки гибридных алгоритмов).

1. *Penenko A., Rusin E.* Parallel implementation of a sensitivity operator-based source identification algorithm for distributed memory computers // *Mathematics*. 2022. V. 10, N 23. P. 4522. DOI: 10.3390/math10234522.

## ТЕСТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИЙ СЛОЖНОЙ ОРОГРАФИИ ДЛЯ РАСЧЕТА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ОБШИРНЫХ ЛЕСНЫХ ВЫРУБОК

М.С. Юдин

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

*m.yudin@ommgp.sccc.ru*

Лес является основным природным поглотителем углерода в наземных экосистемах на всей поверхности Земли. Эксперты подсчитали, что Россия, имея огромные лесные территории, обладает естественным капиталом в виде накопления парниковых газов деревьями в 625 млн т ежегодно [1].

В этой связи представляет интерес оценить влияние обширных лесных вырубок на местные метеорологические условия и локальный климат в целом. Для этого в настоящей работе проводится тестирование параметризаций сложной орографии с целью расчета метеорологических эффектов обширных лесных вырубок с применением негидростатической модели сжимаемой атмосферы [2]. При тестировании рассматриваются как конечно-разностная, так и конечно-элементная версии этой модели.

Для лесного массива высотой 20 м расчеты показали устойчивую дневную стратификацию потенциальной температуры вблизи поверхности, и практически нейтральную стратификацию в ночное время внутри массива, что находится в хорошем соответствии с данными наблюдений.

Работа выполнена при поддержке ИВММГ (государственное задание 0251-2021-0003).

1. *Аниськов Е.* \$50 млрд на «зеленой» квоте: ВШЭ оценила климатический капитал России. РБК [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/60be2d319a7947166ff25ad9>.
2. *Yudin M.S.* Some meteorological effects of forest canopy in an atmospheric finite element model // *Proc. SPIE*. 2021. V. 11916. 119166T. DOI: 10.1117/12.2603454.

## **СОДЕРЖАНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ НАД НЕКОТОРЫМИ АСТРОПЛОЩАДКАМИ В МАКРОРЕГИОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ БТА**

**А.Ю. Шиховцев, П.Г. Коваadlo, М.Б. Дрига**

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

В настоящей работе уточнены оценки осажженного водяного и оптической толщи атмосферы над некоторыми астроплощадками в макрорегионе расположения БТА. Астроплощадки характеризуются высокими астроклиматическими показателями. В работе анализируются пространственные распределения осажженного водяного пара и оптической толщи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 22-72-00049, <https://rscf.ru/project/22-72-00049>).

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНЫХ БЛОКИРОВАНИЙ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ КОЛИЧЕСТВА АРКТИЧЕСКОГО ЛЬДА**

**И.В. Боровко, В.С. Градов, В.Н. Крупчатников**

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
irina@ommfao1.sccc.ru, gradov.v.s@gmail.com, vkрупчатников@yandex.ru*

Атмосферными блокировками называются крупные квазистационарные системы высокого давления, воздействующие на атмосферу от нескольких дней до нескольких недель. Характеристиками блокирований, традиционно изучаемыми, являются условия возникновения, продолжительность, интенсивность. Для оценки устойчивости атмосферных блокирований могут применяться такие характеристики как интегральная региональная энтропия и показатели Ляпунова. В данной работе проведено численное исследование влияния изменений ледового покрова на атмосферные блокирования. Реакция климатической системы на уменьшение количества льда была промоделирована с помощью модели INM-CM48. Исследовано влияние интегральной региональной энтропии на устойчивость атмосферных блокирований.

# АЭРОЗОЛЬ И КЛИМАТ

## ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ СИБИРИ

Н.Я. Ломакина, А.В. Лавриненко

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

В работе дана оценка тенденций изменения среднемесячной массовой доли водяного пара в пограничном слое атмосферы в январе и июле, проведенного по данным многолетних (с 1981 по 2020 г.) радиозондовых наблюдений десяти аэрологических станций Сибирского региона. Установлено, что для полярных станций характерны положительные тренды влажности воздуха во всем пограничном слое атмосферы, как в январе, так и в июле. На остальной территории Сибири коэффициенты трендов содержания влаги на уровне земной поверхности и на высотах могут отличаться по знаку. По величине тренды в июле превышают январские. Сравнительный анализ трендов массовой доли водяного пара за 1981–2020 гг. с ее изменениями за ранее исследуемый период с 1981 по 2010 г. показал, что в полярных и субполярных широтах Западной Сибири влажность пограничного слоя атмосферы увеличилась как в январе, так и в июле, а в Восточной Сибири в июле наблюдается заметное ослабление темпов ее роста.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Н.Я. Ломакина, А.В. Лавриненко

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

Обсуждаются результаты анализа трендов долговременных изменений среднегодовой и среднесезонной влажности воздуха в пограничном слое атмосферы Сибирского региона за 1981–2020 гг. по данным наблюдений 24 аэрологических станций. Установлено, что во всем пограничном слое Сибири преобладают положительные тренды среднегодовой влажности воздуха. Отрицательные тренды среднегодовой массой доли водяного пара прослеживаются с высоты 400 м на юго-западе территории, а на уровне 1600 м они наблюдаются в Западной Сибири западнее 75–80° в.д. и, частично, в субполярных и умеренных широтах Восточной Сибири. Показано, что наибольший вклад в увеличение среднегодовой влажности воздуха на уровне земной поверхности вносит летний сезон и в меньшей степени – весна и осень. На высотах пограничного слоя атмосферы лето вносит максимальный вклад в полярной зоне Восточной Сибири, весна и осень – на остальной территории Сибирского региона. Среднегодовое содержание влаги в пограничном слое атмосферы усилилось за период 1981–2020 гг. по сравнению с ранее исследуемым периодом (1981–2010 гг.) почти на всей территории Сибири, за исключением центральных районов Восточной Сибири, где наблюдается замедление роста влажности воздуха.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ В ОБСЕРВАТОРИИ «ФОНОВАЯ»

Т.К. Складнева, Б.Д. Белан, Г.А. Ивлев

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

Сотрудниками лаборатории климатологии атмосферного состава ИОА СО РАН в обсерватории «Фоновая» (56° 25' с.ш.; 84° 04' в.д.) с мая 2020 г. ведутся измерения температуры почвы на разных глубинах (0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 160, 200, 240, 280, 320 см). Измерительная площадка расположена на открытом, хорошо освещенном пространстве. Зонд с датчиками температуры находится под естественным покровом (луговая растительность).

В обсерватории «Фоновая» авторами впервые получен годовой ход температуры почвы до глубины 320 см. Установлены даты начала прогрева и остывания почвы на разных глубинах до уровня 60 см.

Выделены 4 типа вертикальных профилей температуры почвы для разных сезонов. В верхнем 20-сантиметровом слое температура почвы изменяется от  $-1,88 \pm 1,37$  (0 см) до  $-0,34 \pm 1,20$  °С (20 см) в период с зимним типом, от  $14,24 \pm 3,02$  (0 см) до  $12,99 \pm 3,42$  °С (20 см) в период с летним типом, от  $0,1 \pm 0,37$  (0 см) до  $-0,07 \pm 0,06$  °С (20 см) в апреле и от  $6,55 \pm 3,06$  (0 см) до  $12,99 \pm 3,42$  °С (20 см) в период с осенним типом. Для каждого типа получены средние суточные ходы изменения температуры почвы до глубины 30 см.

При характеристике теплового режима почв особый интерес представляет сумма активных температур (температура почвы выше 10 °С) на глубине максимального распространения корней (20 см). Активная температура на глубине 20 см зарегистрирована с 26 мая по 24 сентября и средняя температура за этот период составила  $13,85 \pm 2,06$  °С.

Работа выполнена по проекту государственного задания ИОА СО РАН № 121031500342-0. Для выполнения исследований использовалась инфраструктура ЦКП «Атмосфера», государственное задание № 075-00713-22-02.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕТНЕГО ПРОГРЕВА СИБИРСКИХ ШЕЛЬФОВЫХ МОРЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ

Д.Ф. Якшина, Е.Н. Голубева, В.С. Градов

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

Основным источником летнего прогрева верхнего слоя сибирских арктических шельфовых морей является коротковолновая солнечная радиация. Радиационный поток затухает с увеличением глубины, при этом скорость затухания определяется оптическими свойствами воды, зависящими главным образом от количества взвешенного вещества.

Одним из основных методов изучения процессов, протекающих в климатической системе, является трехмерное численное моделирование. В моделях океана и морского льда процесс усвоения коротковолновой солнечной радиации описывается различными параметризациями. В настоящей работе исследуется чувствительность региональной трехмерной численной модели океана и морского льда SibCIOM к трем параметризациям проникающей радиации. В численных экспериментах рассматриваются следующие варианты: 1) классическая двухкомпонентная параметризация с использованием постоянных коэффициентов затухания для инфракрасного и видимого частей спектра, зависящих от одного из пяти классов прозрачности океанических вод; 2) трехкомпонентная, с различающимися коэффициентами поглощения для красной, зеленой и синей частей видимого спектра и опирающаяся на спутниковые данные о концентрации хлорофилла; 3) однокомпонентная, в которой коэффициент затухания зависит от концентрации хлорофилла.

Анализ результатов численных экспериментов для акватории сибирских шельфовых морей показал, что учет сезонного распределения концентрации хлорофилла при формировании потока проникающей коротковолновой радиации приводит к формированию областей прогрева вод в поверхностном или придонном слое, отличающихся от базового эксперимента с двухкомпонентной параметризацией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-11-20112).

## РАСЧЕТЫ РАДИАЦИОННОГО ФОРСИНГА CO<sub>2</sub> И CH<sub>4</sub> В ТРОПОСФЕРЕ УМЕРЕННЫХ ШИРОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ И МОДЕЛЕЙ КONTИНУАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРОВ ВОДЫ

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

<sup>1</sup>Волгоградский государственный университет, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
fkm@volsu.ru, ches@iao.ru, alek.razmolov2010@yandex.ru

Климатические изменения связывают с возрастанием концентрации парниковых газов, которые поглощают излучение в длинноволновом диапазоне ( $\lambda$  более 3 мкм). Радиационный форсинг парниковых газов является способом оценки влияния повышения их концентрации на нагрев атмосферы и подстилающей поверхности. Форсинг парниковых газов определяют как разность потоков длинноволнового излучения в атмосфере при различных концентрациях газов. Наиболее значительный вклад в радиационный форсинг дает CO<sub>2</sub>, концентрация которого за последние пятьдесят лет возросла от 330 до примерно 400 ppm. Вторым по значимости является CH<sub>4</sub>, содержание которого в атмосфере превышает доиндустриальный уровень более чем в 2,5 раза.

Точность расчета радиационных характеристик зависит от качества спектроскопической информации. Проведены расчеты нисходящих и восходящих потоков ИК-излучения для метеорологических условий, характерных для летних и зимних условий умеренных широт при использовании различных версий спектроскопических баз данных HITRAN и GEISA. Проанализированы расхождения в потоках излучения восходящих на уровне тропопаузы и нисходящих на нижней границе атмосферы в спектральном диапазоне 0–3000 см<sup>-1</sup> при использовании различных баз данных. В работе сделаны также оценки влияния континуального поглощения водяного пара в атмосфере на радиационный форсинг CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> на основе массовых расчетов потоков теплового излучения для летних месяцев 2021 г. в регионе Нижнего Поволжья.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ САЖИ (ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА) ПРИ МОЩНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЯХ

С.А. Береснев, М.С. Васильева, Э.Д. Ганиева

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

Сажевый аэрозоль (черный углерод) играет принципиальную роль в климатической системе Земли, являясь разновидностью углеродосодержащих частиц с уникальной комбинацией морфологических, оптических и теплофизических свойств. Магматические вулканы традиционно не считаются поставщиками частиц черного углерода в стратосферу. Основная причина этого устоявшегося мнения – отсутствие в вулканических выбросах сколь-нибудь значимых следов сажи. В недавней гипотезе [1] предлагается и обосновывается принципиальная возможность образования, попадания и накопления в стратосфере нанодисперсного углеродного аэрозоля (вулканогенной сажи) в ходе мощных извержений взрывного типа. В предлагаемом докладе представлено обобщение исследований авторов по данной проблеме, основанное на сопоставлении физико-химических характеристик частиц, получаемых в процессах промышленного производства высокодисперсного углерода [2], и частиц, обнаруживаемых при вулканических извержениях (модель «вулкана как плохо оптимизированного реактора»).

Анализ процессов в газопепловой вулканической колонне показал возможность образования следующих типов частиц черного углерода: одиночных высокодисперсных частиц или их малых агрегатов; частиц волокнистого типа (нанотрубок), связанных с пирокластами; графитоподобных частиц пироуглерода. Немногочисленные данные об обнаружении углеродосодержащих частиц в стратосфере и вулканическом пепле подтверждают возможность образования всех типов предсказываемых частиц и их идентичность с частицами, получаемыми в технологических процессах. Выявлены основные лимитирующие факторы, определяющие как саму возможность, так и нижнюю границу условий образования частиц различных типов – это температура и концентрация углеродосодержащих газов (метана) в газопепловой колонне. Для извержений плинианского типа эти ограничения вряд ли позволяют образовываться частицам черного углерода любых типов в заметных количествах, причем образование нанодисперсных частиц [1] является самым маловероятным.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках госзадания ИЕНиМ УрФУ по теме FEUZ-2023-2022.

1. Зуев В.В., Зуева Н.Е., Куценогий П.К., Савельева Е.С. // Химия в интер. уст. разв. 2014. Т. 22. С. 83–88.
2. Теснер П.А. Образование углерода из углеводов газовой фазы. М.: Химия, 1972.

## СЕЗОННЫЙ АНАЛИЗ МИКРООРГАНИЗМОВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ г. НОВОСИБИРСКА И ЕГО ПРИГОРОДА

М.Е. Ребус<sup>1</sup>, И.С. Андреева<sup>1</sup>, М.Р. Кабилов<sup>2</sup>, А.С. Сафатов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

<sup>2</sup>Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
rebus\_me@vector.nsc.ru

В работе приводятся результаты сезонного микробиологического анализа образцов атмосферных аэрозолей г. Новосибирска и его пригорода, отобранных в период: сентябрь 2020 г. – август 2023 г. Для отбора атмосферных образцов применена фильтрация атмосферного воздуха с использованием армированных тефлоновых мембран Sartorius и компрессоров Нораг на четырех точках г. Новосибирска и близлежащих территорий с разной антропогенной нагрузкой. Отмечена сезонная зависимость численности выявляемых микроорганизмов. Концентрация культивируемых микроорганизмов в отдельных образцах колебалась от единиц до  $2 \cdot 10^3$  КОЕ/м<sup>3</sup>. Соотношение отдельных таксономических групп было изменчивым, определенных закономерностей не выявилось. Значимую концентрацию микроорганизмов представляли кокки, используемые в качестве индикаторов микробной загрязненности атмосферного воздуха, их наблюдали как в пробах, полученных в городской черте, так и за ее пределами в пригороде. Кокки могли составлять от 22,92 до 100% от общей концентрации микроорганизмов в образце с преобладанием представителей *Staphylococcus* и *Micrococcus*. Выделенные кокковые формы бактерий тестированы на чувствительность к антибиотикам и признаки патогенности, выявлены штаммы, обладающие устойчивостью к 4–5 антибиотикам, обладающие ферментами, провоцирующими развитие инфекционного процесса у человека и животных.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-50032) и госзадания 11/21 Роспотребнадзора.

## ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ PM2.5 ВО ВРЕМЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ЯКУТИИ С ПОМОЩЬЮ ПОРТАТИВНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА И БПЛА

О.А. Томшин<sup>1</sup>, В.С. Соловьев<sup>1</sup>, В.С. Стародубцев<sup>1</sup>, И.И. Колтовской<sup>1</sup>, П.Г. Мордовской<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр Якутский научный центр СО РАН, Россия  
tomshinoa@gmail.com

В результате пожаров в атмосферу выбрасывается огромное количество продуктов горения – смесь различных газов и аэрозольных частиц, способных оказывать негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Выбросы от лесных пожаров в Сибири часто переносятся воздушными массами на большие расстояния, тем самым оказывая влияния не только на региональном, но и в глобальном масштабе. Для исследований пространственно-временных вариаций атмосферных аэрозолей используют данные спутниковых, самолетных и наземных наблюдений. В последние несколько лет, широкое распространение получили исследования аэрозолей с использованием беспилотных летательных аппаратов, которые являются прямыми и более детальными измерениями, по сравнению со спутниковыми данными и в то же время предоставляют больше возможностей по пространственному охвату, по сравнению со стационарными наблюдениями. В работе представлены предварительные результаты измерений концентрации аэрозольных частиц в атмосферном воздухе в окрестностях Якутска в спокойных/фоновых условиях и в условиях сильной задымленности от лесных пожаров с помощью портативного газоанализатора Sniffer4D, установленно на БПЛА DJI Matrice M300.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АЭРОЗОЛЯ НА РАСЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В МОДЕЛИ ICON В БЕЗОБЛАЧНЫХ УСЛОВИЯХ

А.А. Полюхов<sup>1,2</sup>, Д.А. Пискунова<sup>1</sup>, А.В. Гвоздева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия  
aeromsu@gmail.com

В работе представлены первые результаты использования аэрозольной климатологией CAMS в мезомасштабной негидростатической модели ICON. В отличие от аэрозольной климатологии Tegen, которая использовалась ранее, CAMS позволяет более точно учесть трехмерную структуру атмосферного аэрозоля, а также гидрофобность и гидрофильность аэрозольных частиц. Кроме того, климатология CAMS показывает большее согласие с данными измерений международной сети AERONET, чем климатология Tegen для метеорологической обсерватории МГУ. Для тестирования аэрозольной климатологии CAMS было отобрано 10 безоблачных дней в 2021 г. Расчеты производились с аэрозольной климатологией Tegen и CAMS и сравнивались с результатами высокоточных наземных измерений в Метеорологической обсерватории МГУ. Также была оценена чувствительность расчета температуры воздуха при изменении баланса коротковолновой радиации на различных высотах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 23-77-01030).

1. Flemming J. et al. The CAMS interim Reanalysis of carbon monoxide, ozone, and aerosol for 2003–2015 // Atmos. Chem. Phys. 2017. V. 17, N 3. P. 1945–1983.
2. Tegen I. et al. Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: Estimates from model results // J. Geophys. Res.: Atmos. 1997. V. 102, N D20. P. 23895–23915.

## ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА СОЛНЕЧНУЮ РАДИАЦИЮ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСА RAD-MSU(BSRN)

Д.А. Пискунова, Н.Е. Чубарова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия  
daria.a.piskunova@gmail.com

С августа 2021 г. до апреля 2022 г. в Метеорологической обсерватории МГУ одновременно происходили измерения всех компонент радиационного баланса приборами стандарта BSRN (комплекс RAD-MSU(BSRN)) и аэрозольной оптической толщины с помощью солнечного фотометра CIMEL. В ходе работы изучалось влияние аэрозольной нагрузки на коротковолновую радиацию по синхронным среднечасовым данным нового комплекса и фотометра. Данные об аэрозольной оптической толщине за рассматриваемый период были восстановлены по алгоритму, близкому к третьей версии алгоритма AERONET. Для выполнения этой задачи был также восстановлен годовой ход примесей, влияющих на оптическую толщину (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, релей, водяной пар), который используется алгоритмом AERONET. Была произведена оценка влияния аэрозоля на компоненты коротковолнового баланса при различных условиях альbedo поверхности.

Работа выполнялась в рамках работы центра коллективного пользования МГУ (Мониторинг атмосферной радиации, № 460191494) и в рамках мегагранта № 075-15-2021-574.

1. Chubarova N. et al. New radiation complex at the Moscow State University Meteorological Observatory of the BSRN standard: Methodological aspects and first measurement results // Opt. Atmos. 2022. V. 35, N 8. P. 670–678 [in Russian].
2. Giles D. et al. Advancements in the Aerosol Robotic Network (AERONET) Version 3 database – automated near-real-time quality control algorithm with improved cloud screening for Sun photometer aerosol optical depth (AOD) measurements // Atmos. Meas. Tech. 2019. V. 12, N 1. P. 169–209.

## О ВЛИЯНИИ АНИЗОТРОПИИ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОЛЯ ЯРКОСТИ ОТРАЖЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Т.Б. Журавлева, И.М. Насртдинов

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

Возможности современных радиометров, предназначенных для проведения многоугловых измерений отраженной солнечной радиации в широком спектральном диапазоне, используются для получения информации об отражательных свойствах поверхности Земли. Свойственная для ряда типов подстилающей поверхности (ПП) анизотропия (снег, пустыня, водная поверхность) вносит коррективы в алгоритмы восстановления на основе данных дистанционного зондирования широкополосного альбедо ПП, являющегося одним из ключевых параметров климатической системы. Решение этих задач предполагает проведение численного моделирования спектрально-угловых характеристик полей яркости отраженного и пропущенного солнечного излучения.

Представлены алгоритмы метода Монте-Карло для моделирования этих характеристик на границах безоблачной молекулярно-аэрозольной атмосферы с учетом анизотропии ПП и молекулярного поглощения. Для описания коэффициентов двунаправленного отражения ПП (Bidirectional Reflectance Factor, BRDF) использована полуэмпирическая модель Рамана–Пинти–Верстрате (Rahman–Pinty–Verstrate, RPV), которая описывает BRDF произвольной поверхности в зависимости от геометрической схемы наблюдения и освещения.

Расчеты выполнены для четырех спектральных каналов (0,49; 0,56; 0,67 и 0,865 мкм) с использованием метеорологических профилей модели стандартной атмосферы США и двух типов атмосферного аэрозоля – пылевого и континентального. Обсуждаются отличия интенсивности отраженного излучения на границах атмосферы, обусловленные влиянием анизотропии относительно ламбертовской поверхности, при вариациях аэрозольной оптической толщины и условий освещенности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН (г. Томск).

## ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАДКОВ В ЛАНДШАФТАХ СИБИРИ И ВОСТОЧНОЙ АРКТИКИ ВСЛЕДСТВИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СИБИРСКОГО ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.Б. Коновалов, Н.А. Головушкин

*Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова РАН,  
г. Нижний Новгород, Россия  
konov@ipfran.ru*

Дымовой аэрозоль, образующийся в результате природных пожаров, может влиять на радиационный баланс атмосферы и процессы облакообразования, тем самым воздействуя на погоду и климат. При этом традиционно полагается, что воздействие дымов на погоду и климат в основном обусловлено аэрозольно-облачными связями. Вместе с тем, недавно показано [1], что в определенных ситуациях доминирующую роль играют радиационные эффекты дымов.

В рамках данной работы были выполнены численные эксперименты с целью оценки значимости влияния радиационных воздействий дымов от сибирских пожаров на параметры облачности и интенсивность осадков в типичных ландшафтах Сибири и восточной Арктики. Использовались химико-транспортная модель CHIMERE, в которой были улучшены описания атмосферной эволюции и оптических свойств сибирских дымов [2], и сопряженная с ней метеорологическая модель WRF. Результаты расчетов свидетельствуют о том, что дымовые загрязнения воздушных масс над тайгой и тундрой вызывают значительное уменьшение интенсивности осадков в указанных ландшафтах. Выявленное «полупрямое» радиационное воздействие сибирских дымов на осадки в среднем усиливается с увеличением аэрозольной оптической толщины и доминирует над «непрямым» эффектом, определяемым аэрозольно-облачными связями.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 23-27-00172, <https://rscf.ru/project/23-27-00172>).

1. Huang X., Ding K., Liu J., et al. // Science. 2023. V. 379. P. 457–461.

2. Konovalov I.B., Golovushkin N.A., Beekmann M., et al. // Atmos. Environ. 2023. V. 309. 119910.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИСПЕРСНОЙ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЕ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЕ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ

Б.В. Горячев

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

Рассматривается взаимосвязь проекций индикатрисы рассеяния на оси декартовой системы координат с потоками излучения в пространственно ограниченной дисперсной среде. Перераспределение потоков излучения в пространстве обусловлено изменением формы индикатрисы рассеяния, представленной в виде интегральных параметров. Получена в аналитическом виде взаимосвязь интегральных параметров индикатрисы рассеяния излучения и коэффициентов асимметрии тела яркости макрообъема, введенных в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Предложено характеризовать индикатрису рассеяния излучения частиц произвольной формы с помощью коэффициентов асимметрии в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Такое представление позволяет рассчитать величину потоков излучения, выходящих через грани рассеивающего объема в виде параллелепипеда. Рассмотрен объем рассеивающей среды в форме куба с переменными оптическими размерами для исключения влияния пространственной ограниченности рассеивающей среды на распространение потоков излучения по направлениям. В этом случае различный выход излучения через разные боковые грани обусловлен произвольной формой индикатрисы рассеяния. В работе обсуждается способ определения коэффициентов асимметрии индикатрисы рассеяния частиц произвольной формы по измерению величины потоков излучения, выходящих через боковые грани.

## НОВЫЕ ИНВАРИАНТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ В ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ В ДИСПЕРСНОМ СОСТОЯНИИ

Б.В. Горячев

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

В оптике рассеивающих сред соотношения инвариантности записаны для полубесконечных однородных атмосфер на основе классических принципов и соотношений в физике. В данной работе получено инвариантное соотношение для энергетических характеристик излучения, распространяющегося в пространственно ограниченной дисперсной среде, которое остается постоянным при изменении поперечных оптических размеров среды (по отношению к направлению распространения излучения). Наиболее близким к найденному инварианту является фотометрический инвариант Стокса, полученный при условии неограниченности среды в поперечном направлении, и справедливый для любой оптической толщине слоя. Рассмотрено влияние подстилающей поверхности на полученные инвариантные соотношения. Сделан анализ точности выполнения инварианта от величины интегральных параметров индикатрисы рассеяния для разных оптических размеров и микроструктуры дисперсной среды. Показано, что в случае рассеяния излучения дисперсной средой с частицами произвольной формы выполняются три инвариантных соотношения, отражающих асимметрию индикатрисы рассеяния по осям декартовой системы координат.

## СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ $PM_{2,5}$ И ИХ СВЯЗЬ С ВАРИАЦИЯМИ ПОРОГОВ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ДАННЫМ ЦГМ ИДГ РАН ЗА ПЕРИОД ЯНВАРЬ – АВГУСТ 2023 г.

С.А. Рябова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского РАН, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

*riabovasa@mail.ru*

Одной из актуальных задач, как при изучении аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха, так и при изучении атмосферного электричества, является связь между аэрозолями и атмосферным электричеством.

Цель настоящей работы заключается в исследовании суточных вариаций концентраций аэрозольных микрочастиц размером меньше 2,5 мкм и напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы в период с января по август 2023 г. на основе данных, полученных в Центре геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН.

При выполнении настоящих исследований был проведен стандартный статистический анализ вариаций на основе вычисления среднего значения, максимального и минимального значений, а также распределений. С целью определения возможной связи между суточными вариациями вертикальной компоненты напряженности электрического поля и массовых концентраций частиц  $PM_{2,5}$  использовался корреляционно-регрессионный анализ.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1220329000185-5 «Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях» и в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

# АНТРОПОГЕННЫЙ АЭРОЗОЛЬ

## ОЦЕНКА КРАТКОВРЕМЕННОГО ВЛИЯНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО АЭРОЗОЛЯ В ВОЗДУХЕ ГОРОДА НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Н.В. Дудорова, Б.Д. Белан

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

В работе использовались данные TOR-станции о содержании мелкодисперсных частиц в атмосфере г. Томска диаметром менее 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ), и число госпитализаций жителей Томска по поводу заболеваний органов дыхания (ЗОД), а также коронавирусной инфекции (коды МКБ-10 J00-J99, U07.1, U07.2), на основе данных из реестра вызовов скорой медицинской помощи, за десятилетний промежуток времени (2010–2020 гг.).

Проведена оценка кратковременного (до 3 дней) влияния как самих значений концентраций аэрозоля в воздухе города, так и продолжительности периодов, с концентрацией  $PM_{2,5}$  выше 10 мкг/м<sup>3</sup> («грязный» период) на увеличение госпитализаций граждан по указанным видам заболеваний.

На основе результатов нашего исследования можно заключить, что вне эпидемий ЗОД загрязнение мелкодисперсным аэрозолем в Томске, а также продолжительность «грязных» периодов достаточно малы для оказания заметного повреждающего действия на большое количество людей. Хотя в отдельные дни повышение концентрации  $PM_{2,5}$  выше 10 мкг/м<sup>3</sup> увеличивает нагрузку на систему здравоохранения, в виде большего количества госпитализируемых граждан по причинам ЗОД. В то же время, при условии появления в воздухе патогенов, вызывающих эпидемии ЗОД, включая коронавирусную инфекцию, мелкодисперсный аэрозоль способствует более быстрому переносу вируса, являясь его транспортным средством, заражая большее количество граждан, чем было бы в чистой атмосфере. В периоды эпидемий ЗОД, даже в условиях достаточно чистого города, такого как Томск, сравнительно не большие концентрации  $PM_{2,5}$  (30–50 мкг/м<sup>3</sup>) способны увеличить заболеваемость населения в несколько раз без учета заболеваемости за счет эпидемии.

Исследование проведено по проекту государственного задания ИОА СО РАН.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЫМОВЫХ ШЛЕЙФОВ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

А.А. Леженин, В.Ф. Рапута

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

Информация, получаемая со спутниковых снимков, дает возможность проводить численное изучение процессов распространения дымовых шлейфов от труб промышленных предприятий. Удобный инструмент для проведения исследования предоставляет теория подобия и размерностей [1]. Она позволяет существенно упростить описание активной стадии подъема дымовых выбросов в атмосферу посредством введения соответствующего масштаба длины, который устанавливает связь между высотой подъема и горизонтальным смещением шлейфа в поле ветра в виде так называемого «закона 2/3» [1, 2].

В докладе обсуждаются подходы по оцениванию характеристик дымовых струй от высотных источников. Для этих целей используются спутниковые снимки шлейфов, положения их теней на земной поверхности, данные аэрологического зондирования, соотношения теории подобия. Предложены методы оценивания траекторий, параметра плавучести, высоты подъема газовых и аэрозольных примесей по косвенным данным. Апробация разрабатываемых подходов проводилась на ряде крупных тепловых станций Сибири для условий малооблачной погоды, при наличии температурной стратификации атмосферы, близкой к нейтральной, а также достаточно однородной подстилающей поверхности. Предлагаемые методы позволяют осуществлять дополнительный контроль режимов эксплуатации труб промышленных предприятий.

Работа выполнена в рамках государственного задания для ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2022-0003).

1. Briggs G.A. // J. Air Pollut. Control Assoc. 1965. V. 15, N 9. P. 433–438.

2. Ванкевич Р.Е., Ермакова Т.С., Софиев М.А. // Ученые записки. 2011. № 19. С. 61–70.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДОВ

В.Ф. Рапута, А.А. Леженин

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

Постоянный контроль качества атмосферного воздуха в городах Российской Федерации проводится на стационарных постах Росгидромета. Уровни концентраций загрязняющих примесей, измеряемых на постах, зависят от множества факторов. Из них определяющими являются объемы выбросов примесей от источников, их расположение на территории города. Большое влияние на процессы загрязнения оказывают метеорологические условия [1].

В докладе обсуждаются результаты исследований асимптотического поведения полей концентраций примесей в атмосфере города. В качестве базового используется предположение о множественности мелких источников, расположенных на городских территориях. Для проведения численного анализа были использованы данные мониторинга среднемесячных концентраций бенз(а)пирена (БП), полученные на городских постах сети наблюдений Росгидромета. Для ряда крупных городов Сибири, включая Новосибирск, Красноярск, Кызыл, Иркутск, Ангарск, Улан-Удэ, Чита, изучаются статистические закономерности длительного загрязнения атмосферного воздуха на городских территориях [2]. Исследованы корреляционные зависимости между измеренными значениями концентраций БП на постах и метеорологическими факторами. Установлены тесные связи повышенных концентраций БП с повторяемостью штителей в холодные периоды года. Результаты исследований могут быть использованы для контроля результатов измерений на постах, выявления дополнительных источников.

Работа выполнена в рамках государственного задания для ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2022-0003).

1. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Ивлева Т.П. // Тр. ГГО. 2013. Вып. 568. С. 267–279.
2. Леженин А.А., Рапута В.Ф. // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 4. С. 109–115.

## МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ЖИЛЫХ РАЙОНОВ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Р.А. Амикишиева<sup>1,2</sup>, В.Ф. Рапута<sup>1</sup>, В.В. Коковкин<sup>3</sup>, И.А. Соловьева<sup>2</sup>, А.А. Леженин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия*  
<sup>2</sup>*Сибирский центр ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «ПЛАНЕТА», г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>*Институт неорганической химии СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
ruslana215w@mail.ru*

Мониторинг характеристик снежного покрова является одним из самых надежных и эффективных методов изучения процессов атмосферного загрязнения и существенно дополняет инструментальные исследования состояния окружающей среды [1]. Его следует использовать как при проведении контактных, так и спутниковых наблюдений. В пробах снега определяется многокомпонентный состав накопленных примесей. Снеговой покров фиксирует атмосферную динамику процессов переноса загрязняющих веществ от источников выбросов [2].

В работе обсуждаются результаты исследования процессов загрязнения атмосферы промышленных и жилых районов г. Искитима. Искитим является крупным промышленным центром Новосибирской обл. Исследование атмосферного загрязнения этого города и его окрестностей – актуальная задача. Численный анализ проводился на базе малопараметрических моделей реконструкции по данным наземного и спутникового мониторинга снежного покрова. Материалами исследований служили данные сетевых измерений содержания взвешенных веществ, ионных компонентов в пробах снега, спутниковые снимки высокого разрешения с КА Sentinel-2, Landsat-8. Установлены корреляционные связи между содержанием примесей в снеге и значениями нормированного снежного индекса (NDSI), численно реконструированы поля загрязнения в окрестностях промышленных предприятий города.

Работа выполнена в рамках государственного задания для ИВМиМГ СО РАН (проект 0251-2022-0003).

1. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 182 с.
2. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. // Метеорол. и гидрол. 2013. № 3. С. 94–106.

## ОЦЕНКА АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА В г. КАРАГАНДА (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)

Т.Е. Адильбаева, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия  
mega.adilbaeva@mail.ru*

Представлены результаты полевых и лабораторно-аналитических исследований загрязнения снегового покрова твердыми частицами, осевшими из атмосферного воздуха на территории многопрофильного промышленного города Караганда в период 2014–2022 гг. Определен элементный состав проб нерастворимого осадка снегового покрова инструментальным нейтронно-активационным методом в ядерно-геохимической лаборатории ТПУ.

На территории города уровень пылевой нагрузки соответствует низкому и не опасному уровню загрязнения согласно нормативной градации ( $\leq 250$  мг/(м<sup>2</sup> · сут)). Опасный и высокий уровень загрязнения (450–850 мг/(м<sup>2</sup> · сут)) выявлен в районе расположения предприятий металлообрабатывающей отрасли и объектов теплоэнергетики города.

Геохимическая специализация нерастворимого осадка снега определяется уровнем накопления Hg, U, Ta, Zn, Sr, Na, Ca, Rb, Cs, которые в 2–16 раз выше фона, формирующие средний уровень загрязнения. Поступление данного спектра элементов связано с сжиганием угля на объектах города. По результатам многолетнего мониторинга в окрестностях ТЭЦ выявлена редкоземельная, радиоактивная и ртутная геохимическая специфика нерастворимого осадка снега, которая обусловлена составом используемых углей и золой уноса.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОМЕТРА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОВЫШЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ В ШЛЕЙФАХ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Г.А. Колотков

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

Статья посвящена исследованию возможностей УВЧ-радиометра (ультравысокие частоты), планируемого использовать для дистанционного детектирования повышенного уровня радиоактивности выбросов АЭС на быстрых нейтронах. Решение данной задачи весьма актуально в связи с недавним введением в эксплуатацию и строительством новых реакторов на быстрых нейтронах, в том числе и в связи с большим количеством аварий на предприятиях ЯТЦ. Проведен количественный анализ радиоактивных выбросов БАЭС на реакторах на быстрых нейтронах и приведены технические характеристики радиометрической системы. Исследованы физико-химические взаимодействия выброшенных радионуклидов и компонентов атмосферы. Определены максимальные расстояния, на которых могут быть зарегистрированы газоаэрозольные радиоактивные выбросы БАЭС на реакторах на быстрых нейтронах в диапазоне частот 1,4–1,8 ГГц в режиме реального времени.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ И ДЫМОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА УРОВЕНЬ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АКВАТОРИИ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2019 И 2023 гг.

Е.П. Яушева<sup>1</sup>, Т.М. Ходжер<sup>2</sup>, Г.С. Жамсуева<sup>3</sup>, В.П. Шмаргунов<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Институт физического материаловедения, г. Улан-Удэ, Россия  
helen@iao.ru*

В работе проанализированы приводные массовые концентрации поглощающего аэрозоля (черного углерода, eBC, black carbon, сажа) в акватории озера Байкал по результатам рейсов на научно-исследовательских судах (НИС) «Академик В.А. Коптюг» с 24 июля по 4 августа 2019г. и «Академик Г.Ю. Верещагин» с 5 по 15 августа 2023 г. Измерения проводились аэталометром МДА разработки ИОА СО РАН.

Фоновый уровень массовой концентрации черного углерода в различных районах оз. Байкал установлен в интервале 0,2–0,3 мкг/м<sup>3</sup> с минимальными значениями в бухте Ая (0,15 мкг/м<sup>3</sup>). В синоптических условиях, способствующих переносу воздуха от прибрежных населенных пунктов, определено антропогенное влияние на акваторию озера. Рядом с городами Слюдянкой, Байкальском, Северобайкальском, пос. Листвянка уровень eBC поднимался в среднем до 0,9–1,8 мкг/м<sup>3</sup>. Повышенные концентрации черного углерода получены и вблизи устья р. Баргузин, а наибольшие значения – в истоке р. Ангара (до 7 мкг/м<sup>3</sup>). В 2019 г. в северной и средней частях Байкала по маршруту Чивыркуйский залив – дельта р. Селенги зафиксированы мощные дымовые шлейфы от лесных пожаров из районов Иркутской области, Якутии, а также от локального очага на восточном побережье озера. Концентрации eBC в этот период поднимались до 5–6 мкг/м<sup>3</sup>.

По итогам двух рейсов НИС установлено, что антропогенное влияние и дымы лесных пожаров повышают уровень концентрации черного углерода в атмосфере над акваторией Байкала в среднем в 5 и 20 раз, соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-77-20058-П).

## ВЛИЯНИЕ СМОГА ОТ ПОЖАРОВ И АНТРОПОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ЕКАТЕРИНБУРГА В 2022–2023 гг.

Е.А. Гуляев<sup>1,2</sup>, А.О. Гусев<sup>2,3</sup>, В.А. Поддубный<sup>1</sup>, М.Е. Васянович<sup>1,2</sup>, В.М. Гадельшин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Физико-технологический институт УрФУ, г. Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>ООО «СИАМС», г. Екатеринбург, Россия

kapterka111@gmail.com

Атмосферный аэрозоль является неотъемлемой частью атмосферы Земли. Значение аэрозоля, как климатообразующего фактора, а также его влияние на здоровье живых организмов сопряжено с необходимостью детального изучения свойств аэрозольных частиц, которые в немалой степени зависят от размеров [1]. При этом фракционный состав аэрозоля может обладать сильной временной изменчивостью даже на ограниченной (локальной) территории [2]. Одна из причин данного явления – возникновение аномальных условий (смог, пожары, техногенные промышленные выбросы и др.).

В докладе рассмотрен ряд случаев возникновения аномальных условий в г. Екатеринбурге 2022–2023 гг., на основе которых выполнено исследование фракционного состава аэрозольных частиц. Проведен сравнительный анализ данных полученных при аномальных условиях с повседневными данными и показано различие дисперсного состава. Сделаны выводы о преобладающих размерах аэрозольных частиц в диапазоне от 0,5 до 10 мкм на исследуемой территории. Изучение фракционного состава аэрозольных примесей проводилось с применением «Анализатора структуры твердых тел SIAMS 800» на базе микроскопа Olympus BX-53 [3], а также аэрозольного спектрометра ДАС 2702-М.

1. Freutel F. et al. // Atmospheric Chemistry and Physics. 2013. V. 13, N 2. P. 933–959.

2. Губанова Д.П. и др. // Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. 2021. Т. 57, № 3. С. 334–348.

3. Анализатор SIAMS 800 [Электронный ресурс]. URL: <https://siams.com/siamss800/>.

## ИСТОЧНИКИ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА: ОСОБЕННОСТИ ПО СРАВНЕНИЮ С КРУПНЕЙШИМИ ГОРОДАМИ МИРА

О.Б. Поповичева<sup>1</sup>, М.А. Чичаева<sup>2</sup>, Р.Г. Ковач<sup>2</sup>, Н.Е. Кошелева<sup>2</sup>, В.Р. Битюкова<sup>2</sup>, Н.С. Касимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИЯФ Московский государственный университет, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Россия

olga.popovicheva@gmail.com

Высокая плотность населения мегаполиса и интенсивная экономическая активность приводят к масштабным экологическим последствиям, требующим оценки качества воздуха с учетом особенностей климата, местоположения, потребляемого топлива и источников выбросов. Анализ характеристик и свойств аэрозолей PM<sub>10</sub> проведен на Аэрозольном комплексе МГУ (юго-запад Москвы) весной 2018 г., осенью 2019 г. и зимой 2019–2020 гг. Определен состав аэрозолей (органический и элементный углерод, водорастворимые

ионы, макро- и микроэлементы), оценен массовый баланс и вклад первичных и вторичных органических/неорганических аэрозолей. Количественный анализ вкладов источников определил шесть факторов: городская пыль (26%), дорожное движение (23%), промышленное производство (20%), сжигание биомассы (12%), вторичные аэрозоли (12%) и противогололедная соль (7%) с сезонными трендами, значительно различающимися в холодный отопительный сезон и теплый весенний период интенсивного пыления почв и сельскохозяйственных палов. Исследована связь загрязнения атмосферы с метеорологическими параметрами и переносом воздушных масс. Климатические условия наиболее северного из Европейских мегаполисов, потребление газа системой централизованного теплоснабжения, влияние урбанизированного и промышленно-развитого региона вокруг Москвы, включая сжигание биомасс жилым сектором, а также интенсивное использование антигололедных реагентов определяют значительные различия источников и их вкладов в загрязнение городского фона между Москвой и крупнейшими европейскими и азиатскими городами. Работа выполнена при финансовой поддержке РФ (проект № 19-77-30004-П).

## АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА НОВОГО УРЕНГОЯ

Д.А. Хозяинова<sup>1</sup>, О.Б. Поповичева<sup>2</sup>, М.А. Чичаева<sup>1</sup>, Р.Г. Ковач<sup>1</sup>, Н.С. Касимов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Россия

<sup>2</sup>НИИЯФ Московский государственный университет, Россия  
dariahozyainova@yandex.ru

Характеристики аэрозольного загрязнения атмосферы городов представляют собой важнейшие компоненты показателей качества воздуха, определяющих здоровье населения. В настоящее время особое внимание уделяется проведению анализа состояния аэрозольной нагрузки атмосферы мегаполисов с высокой плотностью населения и промышленно-развитых городов. В летний сезон 2023 г. на городской территории Нового Уренгоя проведены исследования характеристик аэрозолей на базе стационарного и мобильного Аэрозольных комплексов МГУ. Для анализа счетной и массовой концентраций частиц PM<sub>10</sub>, содержания черного углерода (BC) в реальном времени и отбора аэрозолей использованы приборы ДАС, DustTrack и АЕ43 и аспираторы с отголовниками PM<sub>10</sub>. Полученные данные о числе и массовой концентрации частиц, распределении по размерам и концентрациях компонент черного углерода сжигания природных топлив и биомасс позволяют провести сравнительный анализ временной изменчивости физических характеристик аэрозолей, оценить аэрозольную нагрузку и выявить определяющие источники эмиссий, а также разницу вкладов эмиссий транспорта и индустриального комплекса в загрязнение атмосферы Нового Уренгоя и при дальнейшей работе Московского мегаполиса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки РФ (проект № 075-15-2021-574).

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫЯВЛЕННЫХ ИЗ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НАД МОРЯМИ АРКТИЧЕСКОГО СЕКТОРА РОССИИ

И.С. Андреева<sup>1</sup>, А.С. Сафатов<sup>1</sup>, О.В. Охлопкова<sup>1</sup>, Л.И. Пучкова<sup>1</sup>, М.Е. Ребус<sup>1</sup>, Г.А. Буряк<sup>1</sup>,  
Б.Д. Белан<sup>2</sup>, Д.В. Симоненков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
andreeva\_is@vector.nsc.ru

С применением самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик» в сентябре 2020 г. проведено зондирование атмосферы над акваториями морей Российского сектора Ледовитого океана: Баренцевым, Карским, Лаптевых, Восточно-Сибирским и Чукотским. Для выявления микроорганизмов и их анализа отобраны 24 пробы атмосферных аэрозолей на высотах от 200 и до 10000 м. Концентрация культивируемых микроорганизмов, обнаруженных в аэрозолях разной локации, была сходной, в среднем составляла  $5,5 \cdot 10^3$  КОЕ/м<sup>3</sup>. Зависимость количества выделяемых микроорганизмов от высоты и места отбора аэрозолей не наблюдалась. Для 152 культур выделенных бактерий получены основные фенотипические и геномные характеристики, определена таксономическая принадлежность. Атмосферные аэрозоли – источник как транзитной, так и эндогенной микробиоты, являющейся метаболически активной. Бактериальные изоляты, изолированные из арктических аэрозолей, тестированы на секрецию ряда ферментов, на наличие антибиотической активности относительно патогенных микроорганизмов, на резистентность к антибиотикам. Выявлены бактерии неф-

тедеструкторы, растущие при пониженных температурах, имеющие значение для разработок биопрепаратов при рекультивации загрязненных территорий северных регионов. Наиболее активные культуры пригодны для дальнейших исследований в целях биотехнологии.

Благодарности: организаторам арктической экспедиции и команде УНУ самолета-лаборатория Ту-134 «Оптик» за возможность участия в уникальном эксперименте.

Работа выполнена при поддержке госзадания Роспотребнадзора № 11/21.

## **МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ РЕЦЕПТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Е.В. Моложникова**

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

Используемые в настоящее время в России методы нормирования и контроля воздействия промышленных предприятий на окружающую среду во многих случаях неверно оценивают роль различных производств и факторов. Как показали исследования, выполнявшиеся нами в Байкальском регионе, происходит систематическое занижение вклад мелких и неорганизованных источников в загрязнение воздушного бассейна. Неверная оценка роли факторов, воздействующих на состояние окружающей среды, приводит к низкой эффективности природоохранных мероприятий.

Поэтому предлагается методический подход, позволяющий установить реальный вклад отдельных источников выбросов и сбросов – предприятие, город, страна – в загрязнение в точках-рецепторах для Российских условий. Он базируется на совместном использовании модельных расчетов (рассеивания и выпадения веществ-индикаторов в локальном и региональном масштабе) и натурных данных (наблюдений за химическим составом снежного покрова или верхнего слоя почвы и поверхностных вод). В качестве примера приведен расчет баланса поступления и накопления веществ в снежном покрове для промышленного центра Иркутской области.

Работа выполнена по теме госзадания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014 «Исследование роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна озера Байкал, идентификация источников загрязнения атмосферы»

## **СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ НА СТАНЦИЯХ МОНИТОРИНГА ИРКУТСК И ЛИСТВЯНКА**

**Н.А. Онищук, О.Г. Нецветаева, Т.В. Ходжер**

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

Практически все промышленные производства, а также сжигание ископаемого топлива, транспорт и другие виды деятельности человека приводят к антропогенному рассеиванию тяжелых металлов в окружающей среде. Концентрации тяжелых металлов подвержены сезонной изменчивости. Содержание многих элементов максимальны в весенний период года. Весной после освобождения подстилающей поверхности от снежного покрова с повышением температуры воздуха и увеличением скоростей ветра в атмосферу поступает большое количество аэрозольного вещества. Зимой от антропогенных источников в атмосферу ТМ поступают в основном на твердых частицах выбросов, поэтому в атмосферных осадках они присутствуют в нерастворимом состоянии и зимнего максимума в годовом ходе растворимых форм не наблюдается. Содержание таких элементов как, V и Co напротив, максимальны в зимний период, а минимальны в летний. При рассмотрении корреляционных связей тяжелых металлов с основными анионами выявлено, что на обеих станциях лучше всего с основными ионами коррелируют ванадий и марганец, и их связь прослеживается с основными кислотообразующими анионами сульфатами и нитратами. Самый высокий коэффициент корреляции был определен между Co и нитрат ионом на станции мониторинга Листвянка. Значимые значения корреляции для ТМ с ионами водорода выявлены только для свинца на ст. Листвянка. Для ст. Иркутск значимым является коэффициент корреляции с медью и свинцом.

Работа выполнена по теме госзадания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014 (121032300199-9).

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ САЖИ В СИСТЕМЕ ВОЗДУХ – ОСАДКИ – СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА В 2020–2023 гг.

Т.В. Ходжер<sup>1</sup>, Л.П. Голобокова<sup>1</sup>, В.А. Оболкин<sup>1</sup>, О.И. Бердашкинова<sup>1</sup>,  
Е.А. Позднякова<sup>2</sup>, В.А. Безденежных<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, г. Москва, Россия  
*info@lin.irk.ru, fgbuigce@igce.ru*

Выбросы сажи, одним из компонентов которой черный углерод, создают серьезные проблемы для окружающей среды, являются «маркерными веществами» потепления климата. Подбор методов отбора, анализа сажи, определение уровней загрязнения атмосферы, идентификация источников, оценка вклада в природные объекты, одна из актуальных задач природоохранных ведомств.

В 2020–2023 гг. проведены исследования сажи в системе: воздух – осадки, снежный покров на урбанизированных (города Иркутской области), сельской (западное побережье Байкала) и фоновых (акватория озера, восточное побережье Байкала) территориях. Проанализированы метеорологические условия. Анализ черного углерода выполнялся автоматическим методом, сажи методиками РД 52.04.831-2015, ГОСТ Р 52991-2008, всего проанализировано более 300 проб. Выявлена сезонная и межгодовая динамика в распределении сажи, где средние значения для города составили 8,8 мкг/м<sup>3</sup>, сельской местности 1,0 мкг/м<sup>3</sup>. Содержание сажи больше в снежном покрове городов, где расположены ее источники: угольные ТЭЦ, дизельные эмиссии транспортных систем. Сильно загрязнен снег вблизи крупных ТЭЦ в гг. Ангарске, Иркутске, Шелехове, содержание сажи варьировало от 300 до 500 мкг/м<sup>2</sup>. Проведен комплексный анализ погодных условий, определены корреляционные связи между температурой воздуха, инверсиями температуры, содержанием сажи в разных средах.

## ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ И МЕТЕОПАРАМЕТРОВ В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ НА ПРИМЕРЕ г. АНГАРСК

М.Ю. Шиховцев, Е.В. Моложникова

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия  
*Max97Irk@yandex.ru*

Работа посвящена установлению связей между интенсивностью загрязнения атмосферы в городах и температурными инверсиями. Температурный режим в районе расположения источников загрязнения атмосферы оказывают важнейшую роль в распространении и рассеивании примесей. Для идентификации и систематизации температурных инверсий над регионом исследования нами были использованы данные вертикальной изменчивости температуры на станции «Ангарск», полученные с базы данных Университета Вайоминга. Концентрации газовых примесей в городах были измерены с помощью автоматических газоанализаторов AF22 (SO<sub>2</sub>) и AC32m (NO<sub>2</sub>) (Environnement SA, Франция) на станциях мониторинга сети Росгидромета.

Ранее авторами уже описывалась временная изменчивость концентрации малых газовых примесей в приземном слое атмосферы городов Иркутской области [1]. Анализ показал, что внутригодовой ход концентрации диоксида серы и оксидов азота в атмосфере г. Ангарск существенно отличается от других городов региона [2]. В данной работе оценена изменчивость концентраций диоксидов серы и азота в зависимости от температурных инверсий.

Работа выполнена по теме государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014 «Исследование роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна озера Байкал, идентификация источников загрязнения атмосферы».

1. Новикова С.А., Шиховцев М.Ю. Загрязнение атмосферного воздуха Иркутской агломерации выбросами автомобильного транспорта // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 19, № 4. С. 241–252.
2. Хуриганова О.И., Оболкин В.А., Голобокова Л.П., Ходжер Т.В. Мониторинг атмосферных загрязнений в городских и сельских районах Байкальской природной территории за 2019–2021 гг. // Метеорол. и гидрол. 2023. № 4. С. 54–65.

## **ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ LOW-COST СЕНСОРОВ**

**М.Ю. Шиховцев, М.М. Макаров, И.А. Асламов, Е.В. Моложникова**

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия  
Max97Irk@yandex.ru*

Работа проведена проверка сходимости результатов измерений концентрации твердых частиц ( $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ ), измеренных с помощью недорогих средств измерения (Womaster ES104) и эталонного прибора (Handheld Lighthouse 3016). Измерения для сравнения проводились в два этапа. Первый этап проводился с 17 по 28 июля 2023 г., на западном побережье Южного Байкала – пос. Большие Коты ( $51,89^\circ$  с.ш.;  $105,06^\circ$  в.д.). В данном районе отсутствуют крупные антропогенные источники, однако на станции могут быть зарегистрированы шлейфы от региональных источников загрязнения атмосферы. Второй этап измерений проводился с 5.08 по 15.08.2023 г. на борту НИС «Верещагин». Измерения проводились как в районах с повышенным уровнем загрязнения, так и с фоновыми значениями.

Результаты измерений показали, что, значения, зафиксированные счетчиком WoMaster, хорошо сравниваются с результатами Handheld Lighthouse 3016-IAQ для частиц с размерами до 2,5 мкм, несмотря на малые величины. Коэффициент корреляции составил 0,94. При сравнении результатов измерения  $PM_{10}$  отмечается разница между приборами, однако, несмотря на различия в абсолютных значениях, результаты измерения хорошо согласуются между собой. Коэффициент корреляции для концентраций  $PM_{10}$  составляет 0,78, что говорит о высокой степени пригодности приборов WoMaster для проведения измерения.

Работа выполнена по теме государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014 «Исследование роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна озера Байкал, идентификация источников загрязнения атмосферы».

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОПУСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ СЛОЯ ДИСПЕРСНОЙ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Б.В. Горячев**

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

Рассматриваются приближенные методы вычисления коэффициентов пропускания и отражения излучения слоем рассеивающей среды. Анализируются возможные ограничения аналитических приближений, и результаты сравниваются с численными решениями. Одним из основных факторов, влияющих на точность решения, является способ представления индикатрисы рассеяния излучения. Выбор метода для практического использования зависит от точности и легкости параметризации индикатрисы рассеяния. Оценивается влияние произвольной формы индикатрисы рассеяния на возможность применения выбранного метода для решения задачи. Определены границы применимости методов решения уравнения переноса излучения для пространственно неограниченных (в поперечном к направлению распространения) рассеивающих сред и величина ошибки, если этот фактор не учитывается. Проведена оценка погрешности расчета коэффициентов пропускания и отражения излучения разными методами в предельных случаях. Уточняется определение коэффициентов пропускания и отражения излучения слоем пространственно ограниченной дисперсной среды.

## СРАВНЕНИЕ ДВУХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ САЖИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В 2023 г.

Е.П. Яушева<sup>1</sup>, Л.П. Голобокова<sup>2</sup>, И.И. Маринайте<sup>2</sup>

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

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

*helen@iao.ru*

По результатам рейса научно-исследовательского судна «Академик Г.Ю. Верещагин» с 5 по 15 августа 2023 г. проведено сравнение двух фотометрических методов определения массовой концентрации сажи (черного углерода, black carbon) в приземной атмосфере озера Байкал.

Измерения концентрации сажи проводились аэталометром МДА разработки ИОА СО РАН, путем фотометрического измерения поглощения атмосферного аэрозоля при непосредственном осаждении его на аэрозольный фильтр [1]. Прибор прокалиброван с применением частиц черного углерода (сажи), поэтому результаты измерений определяются как массовая концентрация эквивалента черного углерода. Одновременно отбирались пробы сажи на аналитические аэрозольные фильтры АФА-ВП-20, которые затем растворялись вместе с пробой в смеси диметилсульфоксида и толуола с последующим ультразвуковым дроблением пробы и фотометрическим анализе полученной суспензии [2]. Средняя разность двух методов определения сажи составила 30%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-77-20058-П).

1. Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Польшкин В.В. Спектрофотометры для исследования характеристик поглощения света аэрозольными частицами // Приборы и техн. эксперим. 2008. № 5. С. 155–157.
2. Успенский А.А., Вольберг Н.Ш., Степаков А.В. Усовершенствование фотометрического метода определения концентрации сажевого аэрозоля в атмосферном воздухе // Тр. ГГО. 2014. Вып. 572. С. 44–56.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ИНВЕРСИИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ КРАСНОЯРСКА $PM_{2,5}$ ЗИМОЙ И ЛЕТОМ

В.В. Заворув<sup>1</sup>, О.Э. Якубайлик<sup>1</sup>, А.В. Дергунов<sup>2</sup>, О.В. Соколова<sup>2</sup>, Т.В. Якубайлик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр РАН», Россия

*valzav@icm.krasn.ru*

В ИВМ СО РАН создана система мониторинга воздуха, которая успешно функционирует с конца 2018 г. Она позволяет оценивать загрязнение Красноярска как в отдельных точках, так и в целом по городу. С октября 2021 г. осуществляется непрерывное зондирование атмосферы метеорологическим температурным профилемером МТР-5 – регистрируются данные вертикального профиля температуры до высоты в 1000 м. Вся собираемая информация размещается в геопространственной базе данных геопортала ИВМ СО РАН.

Результаты мониторинга показали, что образование температурных инверсий отличается в разные сезоны года – средняя повторяемость инверсий в зимнее время достигает 59%, в то время как летом ее величина составила менее 24%. Зимой температурная инверсия в сочетании со штилевыми условиями как правило приводит к образованию неблагоприятных метеорологических условий и соответствующему повышению концентрации  $PM_{2,5}$  – загрязнению приземного слоя атмосферы. Летом ситуация при сопоставимых метеоусловиях может отличаться – при температурных инверсиях атмосферный воздух нередко остается чистым. Эти наблюдения подтверждают гипотезу о решающем вкладе в загрязнение Красноярска автономных источников теплоснабжения (печное отопление частного сектора и малые котельные), которые не работают в летнее время.

# МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ

## АЭРОЗОЛЬНЫЙ СТЕНД: ГЕНЕРАЦИЯ, ИЗМЕРЕНИЕ, БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ

А.М. Бакланов, С.В. Валиулин, А.А. Онищук, С.Н. Дубцов

*Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
valiulin@kinetics.nsc.ru*

В Институте химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН разработан и создан аэрозольный стенд позволяющий проводить исследования механизмов образования аэрозольных частиц, эволюцию этих частиц во времени и под воздействием различных атмосферных факторов, их токсичность, а также фармакокинетику лекарственных средств при их ингаляционной доставке лабораторным животным.

Стенд представлен тремя независимыми блоками: генерации, измерения и ингаляции.

Блок генерации включает в себя набор генераторов аэрозоля, работающих на различных физических принципах: испарение-конденсация, распыления жидкости (гидравлическое и ультразвуковое), пневматическое распыление сухого порошка. Что позволяет получать аэрозольные частицы размером от нескольких нанометров до десятка микрон, со счетной концентрацией частиц до  $10^7 \text{ см}^{-3}$ .

Блок измерения представлен диффузионным спектрометром аэрозоля ДСА-М, оптическим спектрометром аэрозоля ОСА, измерителем массовой концентрации и неселективным аэрозольным разбавителем. Широкий набор измерительного оборудования позволяет определять размер аэрозольных частицы в диапазоне от 3 нм до 10 мкм и их концентрацию от 10 до  $10^9 \text{ см}^{-3}$ .

Ингаляционные камеры для крыс и мышей типа «nose-only» (только нос) и «whole-body» (все тело) формируют блок ингаляционной доставки. Использование этих камер позволяет измерять эффективность осаждения частиц в дыхательной системе и проводить исследование биологического действия аэрозольных частиц различного состава.

Исследование выполнено при поддержке РФ (грант № 19-73-10143, <https://rscf.ru/project/19-73-10143>).

## ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЯДЕР КОНДЕНСАЦИИ НА НИЖНЕЙ ГРАНИЦЕ ОБЛАКА

Ю.О. Шувалова<sup>1,2</sup>, Н.Е. Чубарова<sup>2</sup>, М.В. Шатунова<sup>1</sup>, Г.С. Ривин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, г. Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия*

*shuvalova@mecom.ru, chubarova@geogr.msu.ru, shatunova@mecom.ru, gdaly.rivin@mecom.ru*

В работе представлен обзор и анализ наиболее распространенных методов восстановления численной концентрации ядер конденсации ( $N_{CCN}$ ) на основе спутниковых данных и наблюдений наземного базирования (CLOUDNET, AERONET). Мы проанализировали все недостатки восстанавливаемых  $N_{CCN}$  на основе разных видов данных, учли инструментальные ограничения и особенности спутниковых измерений и разработали методическую основу для восстановления  $N_{CCN}$  в теплый бесснежный период над земной поверхностью. Восстановления базируются на данных спектро радиометра MODIS с горизонтальными разрешениями 1 и 5 км, чтобы учесть влияние облачного покрова. Представленные в работе результаты восстановления концентрации ядер конденсации являются отличным инструментом настройки и анализа результатов двухмоментной микрофизической схемы конфигурации ICON-Ru модели ICON.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (мегагрант № 075-15-2021-574). Исследование схемы нуклеации облачных капель Сигала-Хаина конфигурации ICON-Ru модели ICON выполнено в рамках Научно-исследовательской работы Росгидромета АААА-А20-120021490079-3.

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ ЭХО-СИГНАЛОВ ССД-ЛИДАРОВ ПРИ ЗОНДИРОВАНИИ ОБЛАЧНЫХ СРЕД

С.М. Пригарин<sup>1,2</sup>, Д.Э. Миронова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Россия

*sergeim.prigarin@gmail.com*

Известно, что при зондировании тонкого облачного слоя коротким лазерным импульсом в облаке за счет многократного рассеяния может возникать расширяющееся световое кольцо. Такие световые кольца наблюдаются в экспериментах с применением специальных широкоугольных ССД-лидаров (см., например, [1]). Численное моделирование позволяет детально изучить условия, при которых в облачных слоях возникают световые кольца, и особенности распространения световых колец в зависимости от характеристик облачных сред [2, 3]. В частности, результаты численных экспериментов [3] говорят о том, что в облачном слое внутри основного светового кольца на короткое время может возникать второе световое кольцо (это обусловлено особенностями облачной индикатрисы). Наша работа посвящена статистическому моделированию эхо-сигналов широкоугольных ССД-лидаров при зондировании слоистой облачности. Рассматриваются варианты моностатического и бистатического лидаров. Достаточно трудоемкие вычислительные эксперименты демонстрируют, каким образом сложная кольцевая структура многократно рассеянного лазерного излучения отражается на пространственно-временных характеристиках эхо-сигналов ССД-лидаров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-27-00345).

1. Love S.P., Davis A.B., Ho C., Rohde C.A. Remote sensing of cloud thickness and liquid water content with Wide-Angle Imaging Lidar (WAIL) // *Atm. Res.* 2001. N 59–60. P. 295–312.
2. Prigarin S.M., Aleshina T.V. Monte Carlo simulation of ring-shaped returns for CCD LIDAR systems // *Russian J. Numer. Anal. Math. Modelling.* 2015. V. 30, N 4. P. 251–257.
3. Пригарин С.М., Миронова Д.Э. Статистическое моделирование кольцевых структур рассеяния лазерного излучения в атмосферной облачности и водных средах // *Сибирский журн. вычисл. математики.* 2022. Т. 25, № 3. С. 303–312.

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА И ТЕЛ ЯРКОСТИ В ОБЛАЧНЫХ СРЕДАХ С УЧЕТОМ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Е.Г. Каблукова<sup>1</sup>, С.М. Пригарин<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Россия

*kablukovaE@sscc.ru*

В работе исследуются особенности распространения линейно поляризованного лазерного излучения от стационарного источника в облачной среде с помощью моделирования методом Монте-Карло. Были проведены расчеты плотности столкновений, степени поляризации и преимущественного направления фотонов в рассеивающей среде для различных кратностей рассеяния. Получены зависимости яркости и степени поляризации сигнала от оптического расстояния между положениями источника и приемника лазерного излучения. Решение таких задач представляет интерес, в частности, при изучении точности лазерных инструментальных систем посадки самолетов в условиях недостаточной видимости [1, 2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-27-00345).

1. Ошлаков В.Г., Цвык Р.Ш., Илюшин Я.А. Оптическая инструментальная система ориентирования в условиях недостаточной видимости // Сб. тр. научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления 2012». М., 2012.
2. Каблукова Е.Г., Ошлаков В.Г., Пригарин С.М. Моделирование методом Монте-Карло сигнала лазерной навигационной системы // *Сибирский журн. вычисл. математики.* 2023. Т. 26, № 3. С. 253–261.

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРОПУСКАНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 532 нм В МХК СПЕКТРОФОТОМЕТРА ОТ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

А.Н. Куряк, Б.А. Тихомиров

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

Представлены результаты измерений зависимости пропускания многоходовой кюветы (МХК) спектрофотометра от концентрации водяного пара в кювете. Измерения проводились на длине волны излучения 532 нм, при которой поглощение излучения водяным паром в зазоре между зеркалами и поглощение водой, адсорбированной на поверхности зеркал, пренебрежимо малы. В эксперименте использовались стабилизированный по мощности диодный лазер с удвоением частоты излучения и два плоских алюминиевых зеркала, установленных параллельно друг другу на расстоянии 14 мм. Количество отражений на зеркалах изменялось от 12 до 36. Концентрация водяного пара измерялась с помощью датчика относительной влажности  $RH$  и температуры.

Установлено, что физическим механизмом увеличения потерь на зеркалах МХК в видимом диапазоне спектра с ростом влажности является рассеяние излучения неоднородным слоем адсорбированных молекул воды. Получены количественные данные об изменении пропускания МХК и коэффициента отражения излучения 532 нм алюминиевым зеркалом в зависимости от  $RH$ .

## К ВОПРОСУ О ПОГЛОЩЕНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ БЛИЖНЕГО УФ-ДИАПАЗОНА СПЕКТРА АТМОСФЕРНЫМ ВОДЯНЫМ ПАРОМ

Г.Ю. Голубятников<sup>1</sup>, А.Н. Куряк<sup>2</sup>, Б.А. Тихомиров<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт оптики атмосферы СО РАН им. В.Е. Зуева, г. Томск, Россия  
glb@appl.sci-nnov.ru, bat@iao.ru*

На основе анализа литературных данных и результатов последних экспериментов выдвигается и обосновывается гипотеза о природе «новой» полосы поглощения атмосферного водяного пара в ближней УФ-области спектра, обнаруженной в [1, 2].

Сообщается о регистрируемом в эксперименте увеличении на 30–40% линейного и 2-фотонного поглощения наносекундных лазерных импульсов с длиной волны 266 нм водяным паром в смесях с азотом и гелием при переходе от линейной поляризации излучения к циркулярной в области изменения пиковой интенсивности излучения  $I_0 = (0,04–2)$  ГВт/см<sup>2</sup>. Эффект отсутствует в смеси водяного пара с водородом.

1. Климкин В.М., Федорищев В.Н. Новая полоса поглощения атмосферы в УФ-диапазоне спектра // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2, № 2. С. 220–221.

2. Лукьяненко С.Ф., Новаковская Т.И., Потаткин И.Н. Исследование спектра поглощения паров H<sub>2</sub>O в области 270–330 нм // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2, № 7. С. 706–709.

## МАЛОГАБАРИТНЫЕ СЧЕТЧИКИ ЧАСТИЦ ОРС-N3 ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЕТАЧЕСТИ ВЕЩЕСТВА В СОСТАВЕ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В СУБМИКРОННОМ ДИАПАЗОНЕ РАЗМЕРОВ

Вик.В. Польшкин, В.П. Шмаргунов

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

С апреля 2023 г. на аэрозольной станции ИОА СО РАН проводятся круглосуточные исследования параметров летучести вещества аэрозольных частиц субмикронного диапазона размеров в приземном слое воздуха с помощью малогабаритных счетчиков частиц ОРС-N3. Оценки параметров летучести проводились на основе результатов измерений счетной концентрации частиц в 14-ти диапазонах размеров от 0,3 до 10 мкм при искусственном нагреве анализируемого атмосферного воздуха от 25 до 200 °С. Рассчитывались значения концентраций и проводились оценки относительного вклада веществ разной летучести в составе сухой фракции аэрозоля в диапазонах температур: 25–100, 100–200 и более 200 °С. Проводились сравнения полученных данных с ранее полученными счетчиками АЗ-10.

## СТРАТОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬНЫЙ СЛОЙ ЗА ПЕРИОД 2018–2023 гг. ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА СИБИРСКОЙ ЛИДАРНОЙ СТАНЦИИ В ТОМСКЕ

А.В. Невзоров, С.И. Долгий, А.П. Макеев, О.В. Харченко, Н.С. Сальникова

*Институт оптики атмосферы им В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*  
nevzorov@iao.ru, dolgii@iao.ru, map@iao.ru, olya@iao.ru, salnikova@iao.ru

В работе на основе длинных ряда наблюдений интегрального коэффициента обратного аэрозольного рассеяния, полученного на Сибирской лидарной станции ИОА СО РАН в Томске показано, что после 2018 г. начинается рост содержания стратосферного аэрозоля со скоростью  $1,08 \cdot 10^{-3}$  ср<sup>-1</sup> за декаду. Сравнение сезонной региональной эмпирической модели фонового стратосферного аэрозоля 2000–2018 гг. и средние сезонными профилями 2018–2023 гг. показало существенное увеличение стратосферного аэрозоля по всей стратосфере за последний пятилетний период, максимальные отклонения отношения рассеяния достигали значений 0,1 для лета и 0,2 для зимы в нижней стратосфере. Сделано предположение, что повышенное содержание аэрозоля в стратосфере можно объяснить глобальным влиянием взрывных извержений вулканов Райкоке в июне 2019 г., и подводного вулкана Хунга Тонга-Хунга Хаапай в январе 2022 г.

## МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ЕКАТЕРИНБУРГЕ: ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ ВЕСНЫ 2023 г. И ДРУГИЕ АНОМАЛЬНЫЕ СОБЫТИЯ

Д.Е. Васильева<sup>1,2</sup>, Е.А. Гуляев<sup>1,2</sup>, Е.С. Наговицына<sup>1,2</sup>, В.М. Гадельшин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Физико-технологический институт УрФУ, Кафедра технической физики, г. Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup>*Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*  
daria\_v00@mail.ru

Для наблюдения за содержанием атмосферного аэрозоля в г. Екатеринбурге и его окрестностях используется измерительный комплекс собственной конструкции на базе оптического сенсора Panasonic PM2.5 [1]. Благодаря ежегодной калибровке с выбранным «эталонным» прибором можно обеспечить приемлемую точность измерения подобного рода сенсоров.

Весной 2023 г. проводилась очередная калибровка измерительного комплекса с поверенным диффузионным аэрозольным спектрометром (ДАС) [2], принимаемым в качестве «эталона». Калибровка совпала по времени с периодом сильных лесных пожаров на территории Свердловской области [3]. Полученные данные демонстрируют превышение содержания аэрозольных микрочастиц в воздухе над утвержденными среднесуточной и разовой ПДК. Суточный ход концентрации PM<sub>2.5</sub> в период измерения имеет повторяющуюся временную структуру с характерным максимумом в первые часы после рассвета.

В докладе представлены результаты проведенных измерений. Рассмотрены влияние различных метеорологических факторов на показания оптических сенсоров и их работоспособность в условиях высокой концентрации аэрозоля в воздухе. Полученные данные сопоставлены с итогами пятилетних измерений 2017–2021 гг.: проведено сравнение картины аэрозольного загрязнения при лесных пожарах и других аномальных событиях.

1. Nakayama T. et al. Development and evaluation of a palm-sized optical PM2.5 sensor // Aerosol science and technology. 2018. V. 52.
2. Руководство по эксплуатации МПТР. 407232.001 РЭ. Спектрометр диффузионный аэрозольный ДАС 2702-М. 2016.
3. Шиллер А. В лесах Свердловской области ввели режим ЧС из-за пожаров // Российская газета: [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2023/05/05/reg-urfo/v-lesah-sverdlovskoj-oblasti-vveli-rezhim-chs-iz-za-pozharov.html> (дата обращения: 7.09.2023).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРА ХЕНЕЛА НАНОМЕТРОВЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ДИФфуЗИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА АЭРОЗОЛЕЙ

А.В. Антонов, С.А. Терпугова, В.П. Шмаргунов, М.В. Панченко

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

При изучении конденсационного роста атмосферного аэрозоля многими исследователями отмечается зависимость гигроскопических свойств от размера частиц. Исследования с применением нефелометра и фотоэлектрического счетчика позволяют надежно определить фактора роста как функцию радиуса частиц

в субмикронном диапазоне размеров. Однако остается открытым вопрос о конденсационном росте более мелких частиц радиусом  $< 200$  нм. Для этого в 2022 г. был создан измерительный комплекс на базе диффузионного спектрометра аэрозолей (ДСА), позволяющего контролировать функцию распределения частиц по размерам в диапазоне  $d = 2-1200$  нм, оснащенного устройством для искусственного увлажнения аэрозоля, забираемого из атмосферы. С использованием интегральных концентраций частиц  $N(r > r_i)$  при нескольких значениях влажности в диапазоне 30–80% по методике А.Г. Лактионова [1] рассчитывались параметры конденсационной активности в зависимости от размера частиц. В работе обсуждаются методические аспекты и предварительные результаты оценки фактора роста частиц в различных атмосферно-оптических ситуациях.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОА СО РАН (проект № 121031500342-0).

1. Лактионов А.Г. Равновесная гетерогенная конденсация. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 160 с.

## ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ КАПЕЛЬ В ДРУГОЙ НЕСМЕШИВАЮЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

В.А. Архипов, Н.С. Евсеев, А.С. Усанина, Р.А. Чуркин

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

При решении целого ряда практических задач, связанных с движением частиц дисперсной фазы в двухфазных потоках, требуется понимание процессов, происходящих на границе раздела фаз, а также применимые для практических расчетов выражения для основных динамических параметров, в частности, для скорости (или коэффициента сопротивления) частиц в зависимости от начальных параметров исследуемого процесса. Целью настоящей работы является получение новых знаний о динамике движения одиночной капли и группы капель в другой несмешивающейся жидкости в присутствии поверхностно-активного вещества. В работе представлены результаты экспериментального исследования процесса движения одиночной капли и группы капель базового изопарафинового масла hvi-2 в дистиллированной воде и растворах дистиллированной воды с поверхностно-активным веществом. В качестве поверхностно-активного вещества использовался лаурилсульфат натрия. Проведен анализ влияния концентрации поверхностно-активного вещества в дистиллированной воде на скорость движения капель. Проведен анализ влияния соотношения размера капель и концентрации поверхностно-активного вещества на их динамику движения. Предложено эмпирическое выражение для скорости движения одиночной капли жидкости в другой несмешивающейся жидкости в присутствии поверхностно-активного вещества в жидкой внешней среде.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 22-79-10028, <https://rscf.ru/project/22-79-10028>).

## МЕТОД ДЕТЕКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УСТРОЙСТВ

А.А. Черемискина<sup>1</sup>, В.М. Генералов<sup>1</sup>, В.К. Грабежова<sup>2</sup>, А.В. Глухов<sup>3</sup>, А.С. Сафатов<sup>1</sup>, Г.А. Буряк<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

<sup>2</sup>Дизайн-центр микроэлектроники ВЕГА, г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>АО «НЗПП Восток», г. Новосибирск, Россия

*cheremiskina\_aa@vector.nsc.ru*

Создание аналитических устройств, направленных на обнаружение биологических частиц в атмосферных аэрозолях, является актуальной задачей для научного сообщества. Разработки таких устройств ведутся в направлении развития биосенсорных технологий, а именно в применении биосенсоров на основе нанопроволочных полевых транзисторов [1–3]. Данные устройства позволяют с высокой чувствительностью детектировать биологические частицы (вирусные частицы, белки, ДНК и т.д.) в режиме реального времени.

Работа посвящена разработке биосенсора на основе нанопроволочных полевых транзисторов, в частности, различным конструкциям, способам модификации сенсорной поверхности устройства. Приведены примеры использования биосенсора. Рассматривается проблема вероятностного обнаружения целевых частиц при адсорбции на сенсорную поверхность биосенсора.

Работа выполнена в рамках государственного задания отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора ГЗ-21/21.

1. *Shen F. et al.* Integrating silicon nanowire field effect transistor, microfluidics and air sampling techniques for real-time monitoring biological aerosols // *Environmental Science & Technology*. 2011. V. 45. P. 7473–7480.
2. *Park K.T. et al.* Detection of airborne viruses using electro-aerodynamic deposition and a field-effect transistor // *Scientific Reports*. 2015. V. 5. P. 17462.
3. *Ma J. et al.* Advances in airborne microorganisms detection using biosensors: A critical review // *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2021. V. 15. P. 1–19.

## ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЛЬБЕДО ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.В. Калачев<sup>1</sup>, А.С. Печкин<sup>2</sup>, Ю.Я. Матющенко<sup>1</sup>, В.В. Пашнев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

<sup>2</sup>Научный центр изучения Арктики, г. Салехард, Россия

*pashnev@phys.asu.ru*

При исследовании приземного слоя атмосферы необходим учет множества факторов, в том числе такого важного параметра, как альbedo подстилающей поверхности. Разработан программно-аппаратный измерительный комплекс для измерения оптических характеристик подстилающей поверхности [1]. Прибор позволяет проводить измерения альbedo в видимой, ближней и средней инфракрасных областях спектра с фиксацией географических координат точки наблюдений, погодных условий, особенностей рельефа и растительного покрова местности. Прибор спроектирован в виде набора отдельных измерительных и вычислительных модулей. Разработано программное обеспечение и проведено тестирование прибора в реальных условиях. Представлены изображения растительного покрова в видимом и тепловом спектре, а также результаты комбинированной съемки, по которым вычислены значения альbedo подстилающей поверхности. Приведены примеры регистрации спектров отражения для некоторых естественных, в частности, субарктических, ландшафтов. Полученные измерительным комплексом результаты могут быть использованы совместно с данными спутникового мониторинга, что в итоге повысит их точность и достоверность.

1. *Калачев А.В., Печкин А.С., Матющенко Ю.Я., Пашнев В.В.* Сенсор для мониторинга подстилающей поверхности // Южно-Сибирский научный вестник. 2023. № 3. С. 74–81.

## ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНОГО И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РМ<sub>2,5</sub> В г. КИСЛОВОДСКЕ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ БПЛА И МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.В. Гвоздева<sup>1</sup>, А.А. Полюхов<sup>1,2</sup>, А.А. Кирсанов<sup>2</sup>, И.А. Сеник<sup>3</sup>, А.Ю. Глебов<sup>1</sup>, Н.А. Петров<sup>1</sup>, Р.Р. Гибадуллин<sup>1</sup>, А.И. Лаврентьева<sup>1</sup>, Д.С. Леонова<sup>1</sup>, А.О. Масляшова<sup>1</sup>, А.А. Нариманидзе<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

*gvozdevaav@my.msu.ru*

Рассматривается исследование влияния орографических условий и метеорологического режима на динамику и пространственное распределение РМ<sub>2,5</sub> в предгорных городских условиях г. Кисловодска. В ходе работы с помощью БПЛА (дрона), с установленным на нем газоанализатором, дважды в день проводилось зондирование вертикальных концентраций аэрозолей в 5 пунктах в черте города. Для анализа суточного хода аэрозолей выполнялись ежечасные измерения на территории Кисловодской Базы ИФА им. А.М. Обухова РАН.

Полученные вертикальные аэрозольные профили были соотнесены с результатами расчетов химико-транспортной модели COSMO-ART [1] с использованием данных CAMS [2] для первоначальных оценок антропогенных выбросов. Данные непосредственных измерений и модельных расчетов были проанализированы с учетом синоптических условий. В антициклонических условиях наблюдается накопление РМ<sub>2,5</sub> в подынверсионном слое в дневное и в ночное время. Адаптированная версия COSMO-ART позволяет корректно воспроизводить пространственное распределение загрязнения воздуха, но не обеспечивает вертикальное. Выявленное аэрозольное загрязнение в городе имеет слабо отрицательный радиационный эффект ( $-5 \text{ Вт/м}^2$ ).

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (#075-15-2021-574).

1. *Doms G. and Baldauf M.* A Description of the Non hydrostatic Regional COSMO model. Part I: Dynamics and Numerics. Consortium for Small-Scale Modelling, Deutscher Wetterdienst (DWD). 2011a.
2. *Inness A. et al.* The CAMS reanalysis of atmospheric composition // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. V. 19, N 6. P. 3515–3556.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ «СТОКС ФОТОГРАФИИ» ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОЖНЫХ ПАТОЛОГИЙ

А.П. Стыкон

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия  
Stikon@yandex.ru*

В связи с быстрым развитием цифровых технологий появились новые возможности в активной поляризационной фотографии («Стокс фотографии»).

Поляризационная визуализация величин, характеризующих состояние поляризации света, недоступная человеческому глазу, становится реальностью. Этому способствует появление новых поляризационно-чувствительных камер, способных почти в реальном времени производить измерения параметров Стокса для каждого пикселя сенсора камеры. Такие камеры можно использовать для мониторинга самых разных кожных патологий (гематомы, ожоги, татуировки, онкология [1], поверхностные вены, папиллярный рисунок и пр.). Поляризованный свет, попадая на кожу, не только диффузно отражается от шероховатой поверхности кожи, но и проникает внутрь на некоторую глубину, там рассеивается и часть возвращается обратно, образуя «смесь» с диффузно отраженным светом от поверхности кожи. Эта «смесь» попадает в объектив поляризационно-чувствительной камеры.

Приведены примеры использования камеры и уравнение описывающее трансформацию поляризованного света, при активном поляризационном фотографировании кожи. Предложен способ управления поляризацией пучка света падающего на поверхность кожи используя жидкокристаллическую матрицу (ЖК-матрицу) от LCD-проектора. Математический аппарат описания трансформации поляризации света схож с матричным описанием поляризационного лазерного зондирования атмосферы.

1. Louie D.C., Phillips J., Tchivaleva L., Kalia S., Lui H., Wang W., Lee T.K. Degree of optical polarization as a tool for detecting melanoma: Proof of principle // J. Biomed. Opt. 2018. V. 23(12). P. 1–7. DOI: 10.1117/1.JBO.23.12.125004. PMID: 30554501.

## СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ АНАЛИЗА АЭРОЗОЛЬНЫХ МИКРОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗОНАНСНО-ИОНИЗАЦИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ВТОРИЧНЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

В.М. Гадельшин<sup>1,2</sup>, Е.А. Гуляев<sup>1,2</sup>, М.А. Коваленко<sup>2</sup>, А.Я. Купряжкин<sup>2</sup>, К.А. Сабанин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup>*Физико-технологический институт УрФУ, г. Екатеринбург, Россия*

*gadelshinvm@mail.ru*

Для исследования образцов атмосферного аэрозоля применяются различные физико-химические методы: масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и рентгенофлуоресцентный анализ предоставляют информацию о валовом содержании химических элементов, сканирующая электронная микроскопия с модулем энерго-дисперсионной рентгеновской спектроскопии характеризует распределение элементов по структуре поверхности образца. Масс-спектрометрия вторичных ионов позволяет изучить распределение химического состава как на поверхности, так и в объеме аэрозольных микрочастиц, предлагая высокую чувствительность к следовым концентрациям отдельных веществ.

При поддержке гранта РФФИ № 19-05-50138 было решено модернизировать имеющийся на кафедре технической физики ФТИ УрФУ масс-спектрометр вторичных ионов. Используя лазерное излучение, становится возможным ионизировать нейтральные частицы, которые в стандартном режиме работы не детектируются, хотя образуются в соотношении ~100:1 к вторичным ионам. Кроме того, лазерная резонансная ионизация еще больше увеличивает чувствительность прибора к отдельным химическим элементам и позволяет отделять изобарные наложения. Идея подсмотрена у немецких коллег, исследующих ультра-следовые концентрации радионуклидов в образцах микрочастиц окружающей среды [1]. Однако в современных реалиях выполнение собственного проекта несколько замедлилось.

Доклад повествует о принципах лазерной резонансно-ионизационной масс-спектрометрии вторичных нейтральных частиц. Обсуждаются этапы создания экспериментальной установки в Екатеринбурге, ее текущий статус. Рассматриваются существующие и потенциальные проекты исследований с использованием данного метода. Авторы приглашают к сотрудничеству другие научные группы, заинтересованные в проведении экспериментов на установке.

1. Bosco H. et al. // Science Advances. 2021. V. 7(44).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ

А.А. Большаков

*АО «НИИ ТМ», г. Санкт-Петербург, Россия  
a.bolshakov@niitm.spb.ru*

В работе были проведены исследования выделения аэрозолей на начальной стадии термодеструкции различных материалов. Главной задачей было определить зависимость между исследуемым материалом, температурой нагрева, спектром выделения аэрозолей и их повторяемость, а также различие между спектрами исследуемых материалов. В качестве объектов исследования были выбраны распространенные горючие материалы природного происхождения: древесина, бумага, ткани из органического волокна, а также материалы, используемые в производстве: оплетки кабелей, полиэтилены, пластики и т.д.

Исследуемый материал помещался в зажимное устройство Аэрозольной камеры и плавно нагревался с шагом 20 °С до температуры 300 °С. В процессе нагрева проводился контроль изменения спектра аэрозолей в закрытом объеме Аэрозольной камеры.

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ КРАСНОЯРСКА

О.Э. Якубайлик<sup>1</sup>, В.В. Заворуев<sup>1</sup>, А.В. Токарев<sup>1</sup>, А.А. Кадочников<sup>1</sup>, М.И. Малимонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия*

<sup>2</sup>*Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр РАН», Россия  
oleg@icm.krasn.ru*

Формирование аппаратно-программного измерительного комплекса для мониторинга атмосферы Красноярска выполнялось поэтапно, на протяжении нескольких последних лет. В его состав сегодня входят различные измерительные устройства:

- станции мониторинга воздуха CityAir, измеряющие концентрации  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , метеорологические характеристики атмосферы (температура и относительная влажность воздуха, атмосферное давление);
- созданные в ИВМ СО РАН датчики, метеостанции и анемометры, в том числе регистраторы скорости/направления ветра, приборы для измерения концентрации  $PM_{2,5}$ , цифровые датчики температуры воды в р. Енисей;
- термокосы над поверхностью р. Енисей для измерений температуры и влажности воздуха в приповерхностном слое атмосферы над водой;
- измерительный комплекс на основе БПЛА, обеспечивающий измерение характеристик атмосферы на вертикальных профилях до высоты в 500 м;
- два температурных профилемера МТР-5 (в городской застройке и на острове р. Енисей) для измерения вертикального профиля температуры атмосферы;
- система видеонаблюдения с помощью IP-видеокамер, предназначенная для регистрации загрязнения атмосферы и образования туманов над р. Енисей.

Создано программно-технологическое информационно-вычислительное обеспечение для сбора, хранения, визуализации и аналитической обработки геопространственных данных оперативного экологического мониторинга, основанное на сервис-ориентированной архитектуре, технологиях веб-ГИС.

Разработанный аппаратно-программный комплекс рассматривается как системная основа для решения задач моделирования и оценки экологического состояния Красноярска.

# **КРУГЛЫЙ СТОЛ «АТМОСФЕРНЫЙ АЭРОЗОЛЬ В ВЫСОКОШИРОТНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ФАКТОРЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ»**

## **ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ, ОТОБРАННОГО В ХОДЕ РАБОТЫ ДРЕЙФУЮЩЕЙ ПОЛЯРНОЙ СТАНЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41»**

**Д.А. Калашникова<sup>1,2</sup>, Г.В. Симонова<sup>1</sup>, Ю.С. Турчинович<sup>2</sup>, Д.Д. Ризе<sup>3</sup>**

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

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

<sup>3</sup>*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия  
terrezapr@mail.ru*

В работе представлены результаты анализа изотопного состава общего углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) в образцах атмосферного аэрозоля, отобранных в ходе работы российской дрейфующей полярной станции «Северный полюс-41» («СП-41») в период с октября 2022 г. по апрель 2023 г. Было проанализировано 27 проб атмосферного аэрозоля методом изотопной масс-спектрометрии. Среднее значение величины  $\delta^{13}\text{C}$  равно  $-28,6 \pm 1,0\%$ . Минимальное и экстремально высокое значения величины  $\delta^{13}\text{C}$  составили  $-30,1$  и  $-24,1\%$ . Для образцов аэрозоля, когда были зафиксированы случаи попадания выбросов с трубы судна на фильтры, получены низкие значения величины  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-29,2 \pm 0,6\%$ ). Такие значения характерны продуктам нефтепереработки, в том числе дизельному топливу. Сравнение средней величины  $\delta^{13}\text{C}$  атмосферного аэрозоля, отобранного в ходе экспедиции «СП-41», со средними величинами  $\delta^{13}\text{C}$  аэрозолей, отобранных в других морских экспедициях [1], показало, что величина  $\delta^{13}\text{C}$  аэрозолей «СП-41» на  $0,5\%$  ниже, что можно объяснить дрейфом «СП-41» в высоких широтах Северного Ледовитого океана.

Работа выполнялась при финансовой поддержке проекта РНФ № 21-77-20025 «Атмосферный аэрозоль в высокоширотных районах Мирового океана: физико-химический состав, географическое распределение, основные источники и факторы изменчивости».

1. Калашникова Д.А., Симонова Г.В., Лямкина О.В., Почуфаров А.О. Апробация методики определения изотопного состава отдельных фракций углерода в атмосферном аэрозоле методом масс-спектрометрии изотопных отношений // Журн. аналитической химии. 2023. Т. 78, № 8. С. 728–735.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОЗОЛЯ В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ В 2022–2023 гг.**

**С.М. Сакерин<sup>1</sup>, Д.М. Кабанов<sup>1</sup>, И.А. Круглинский<sup>1</sup>, М.А. Лоскутова<sup>2</sup>,  
М.Д. Кравчишина<sup>3</sup>, А.Н. Новигатский<sup>3</sup>, А.О. Почуфаров<sup>1</sup>, Д.Д. Ризе<sup>2</sup>,  
О.Р. Сидорова<sup>2</sup>, Ю.С. Турчинович<sup>1,2</sup>, В.П. Шевченко<sup>3</sup>**

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

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

<sup>3</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия  
sms@iao.ru*

В сотрудничестве трех институтов (ИОА СО РАН, ИО РАН и ААНИИ) ведутся ежегодные экспедиционные исследования атмосферного аэрозоля в высокоширотных районах океана. В 2022–2023 гг. измерения проводились в 88/89 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш», дрейфующей экспедиции «Северный полюс-41» и сопровождающем рейсе НЭС «Академик Мстислав Келдыш». В докладе обсуждаются: а) пред-

варительные результаты изменчивости оптических и микрофизических характеристик аэрозоля на маршруте экспедиции «Северный полюс-41»; б) особенности пространственной изменчивости аэрозоля над Северным Ледовитым океаном по данным многолетних измерений; в) оценки сезонной изменчивости характеристик аэрозоля в районе полярных станций на архипелагах Шпицберген и Северная Земля. К анализу результатов натурных измерений привлекаются модельные данные реанализа MERRA-2.

Работы выполняются при финансовой поддержке РФФ (грант № 21-77-20025).

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ДАЛЬНИХ ПЕРЕНОСОВ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО АЭРОЗОЛЯ НА АТМОСФЕРУ АРКТИКИ

И.А. Круглинский, Д.М. Кабанов, С.М. Сакерин

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

В работе продолжено обсуждение влияния на арктическую атмосферу дальних переносов континентального аэрозоля. Анализ проводится на основе результатов измерений аэрозольной оптической толщи атмосферы, концентраций аэрозоля и черного углерода в 18 морских экспедициях с 2007 по 2022 г., а так же по данным гидрометеорологической полярной станции «Мыс Баранова». Идентификация источников наиболее сильных загрязнений арктической атмосферы проводится путем анализа данных обратного траекторного движения воздушных масс, спутниковых карт тепловых аномалий и координат основных источников антропогенных эмиссий.

Выделены три основных типа континентальных загрязнений: думы лесных пожаров, продукты сжигания попутного газа и антропогенные воздействия. Приводятся статистические оценки относительного вклада каждого из типов загрязнений на атмосферу Северного Ледовитого океана, а также в отдельных его секторах по морям. В работе показано влияние отдельных территорий континента на атмосферу Арктики.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФ (проект № 21-77-20025).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ В СОСТАВЕ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С.А. Попова<sup>1,2</sup>, Н.А. Онищук<sup>3</sup>, Ф.А. Дарьин<sup>4</sup>, Д.С. Сороколетов<sup>4</sup>, О.И. Хуриганова<sup>3</sup>,  
А.О. Почуфаров<sup>2</sup>, И.А. Круглинский<sup>2</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*

<sup>4</sup>*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
popova@kinetics.nsc.ru*

В докладе обсуждаются результаты сравнительного анализа элементов (K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo и Pb) в образцах атмосферных аэрозолей определенных методами рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ) [1] и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) [2]. Приводятся результаты анализа проб на ацетилцеллюлозных и бумажных фильтрах, влияние использования единого калибровочного стандарта в идентичных пробах, фонового содержания элементов на разных подложках, а также метрологические характеристики используемых методик. При сравнении содержания элементов в пробах аэрозолей на ацетилцеллюлозных фильтрах, измеренных двумя разными методами и откалиброванных по стандартам, соответствующих каждой методике, показано количественное согласие для Ni, Cu, Zn, Mo, Mn, Fe, Se. Для элементов K, Mn, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Y корректировка влияния фонового их содержания на чистой подложке не дает значительных расхождений в результатах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 21-77-20025).

1. Piminov P.A., Baranov G.N., Bogomyagkov A.V., Berkaev D.E., Borin V.M., Dorokhov V.L., Karnaeв S.E., Kiselev V.A., Levichev E.B., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Sinyatkin S.V., Vobly P.D., Zolotarev K.V., Zhuravlev A.N. // *Physics Procedia*. 2016. V. 84. P. 19–26.

2. Xu G., Gao Y. // *Polar Research*. 2014. V. 33. P. 23973.

## СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ ВЫСОКИХ ШИРОТ В 2019–2022 гг.

С.А. Попова<sup>1,2</sup>, В.И. Макаров<sup>1,2</sup>, Ю.С. Турчинович<sup>2</sup>, Д.Д. Ризе<sup>3</sup>, М.А. Лоскутова<sup>3</sup>,  
О.Р. Сидорова<sup>3</sup>, Ф.А. Дарьин<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия  
popova@kinetics.nsc.ru

В работе представлены результаты измерений массовой концентрации аэрозоля (PM), органического (OC) и элементного (EC) углерода, а также элементного состава атмосферных аэрозолей, отобранных на полярных станциях «Баренцбург» (арх. Шпицберген) и «Мыс Баранова» (о. Большевик, арх. Северная Земля) с октября 2018 г. по сентябрь 2022 г. Измерение PM проводилось гравиметрическим методом, OC и EC методом реакционной газовой хроматографии. Для определения элементов использовался рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения. Статистическая оценка сезонных различий проводилась для двух периодов: полярный день (апрель – сентябрь) и полярная ночь (октябрь – март). По результатам четырехлетних измерений PM на станции «Мыс Баранова» показано повышенное содержание аэрозоля в период полярной ночи, что совпадает с периодом образования Арктической дымки, и возможно, обусловлено дальним переносом атмосферного аэрозоля с материковой части земли. Наблюдается отчетливая сезонная динамика в отношении элементного состава. В сезон полярной ночи показано увеличение концентраций элементов имеющихся в основном почвенно-эрозионное происхождение, таких как K, Ca, V, Sr, Y, Zr и др. Для углеродсодержащих частиц наблюдается повышенное содержание OC и EC с апреля по сентябрь. В европейской части Арктического региона на станции «Баренцбург», показано повышенное содержание PM в период полярного дня. Формирование элементного состава аэрозоля с апреля по сентябрь обусловлено почвенно-эрозионными и антропогенными источниками.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-77-20025).

## РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА АЭРОЗОЛЬНОЙ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В МОРСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ

С.М. Сакерин, А.О. Почуфаров, И.А. Круглинский

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
Poa216@iao.ru

Атмосферный аэрозоль играет важную роль в процессах формирования климата и экологического состояния окружающей среды [1]. Исследование физико-химических свойств атмосферного аэрозоля проводится как на стационарных станциях, так и по маршрутам морских экспедиций. Оптические и микрофизические характеристики измеряются инструментальными средствами в режиме реального времени, а для определения химического состава используется отбор проб аэрозоля на различные типы фильтров. При отборе проб на фильтры во время морской экспедиции появляются дополнительные трудности, такие как постоянное изменение местоположения судна и его антропогенное влияние. Поэтому в рамках реализации задачи по автоматизации отбора проб нами был разработан комплекс автоматизированного сбора аэрозольной и метеорологической информации (АСАМИ).

В докладе представлено описание и результаты испытаний комплекса АСАМИ во время морских экспедиций проводимых в осенью 2023 г. Комплекс включает в себя пятиканальную воздухоудовку с фильтродержателями и цифровыми датчиками расхода газа, датчик частиц, метеосистему и блок управления.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 21-77-20025).

1. Kondratyev K.Ya., Ivlev L.S., Krapivin V.F., Varotsos C.A. Atmospheric aerosol properties, formation processes, and impacts: From nano- to global scales. Chichester, U.K.: Springer/PRAXIS, 2006. 572 p.

## **ВЗАИМОСВЯЗИ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ С МЕТЕОПАРАМЕТРАМИ В ПЕРИОД ПОЛЯРНОЙ НОЧИ (ЭКСПЕДИЦИЯ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41»)**

**Вик.В. Полькин<sup>1</sup>, Ю.С. Турчинович<sup>1</sup>, Д.Д. Ризе<sup>2</sup>**

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

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

В сентябре 2022 г. – апреле 2023 г. нами проводились измерения характеристик атмосферного аэрозоля в акватории арктических морей на ЛСП «Северный полюс» (ледовая самодвижущая платформа) по программе «Северный полюс-41». В число исследуемых характеристик входили счетные концентрации частиц аэрозоля радиусом 0,15–5 мкм и массовая концентрация поглощающего аэрозоля в эквиваленте черного углерода. В докладе обсуждаются первые результаты корреляционного анализа данных параллельных измерений характеристик аэрозоля и метеопараметров по маршруту движения платформы. Анализируются возможные причины и величина связей характеристик аэрозоля и метеопараметров.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-77-20025).

## **СРАВНЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ И КОНЦЕНТРАЦИЙ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В РАЙОНЕ ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЙ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ И РЕАНАЛИЗА MERRA-2**

**Д.М. Кабанов**

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

*dkab@iao.ru*

Регулярные измерения характеристик аэрозоля в высокоширотных обсерваториях в Баренцбурге (арх. Шпицберген) и научно-исследовательском стационаре «Ледовая база „Мыс Баранова“» (арх. Северная Земля) были начаты в 2011 г. и 2018 г. соответственно. В число измеряемых характеристик входят аэрозольная оптическая толщина атмосферы ( $\tau_{\lambda}^a$ , в диапазоне длин волн  $\lambda = 0,34 \pm 2,14$  мкм) и массовая концентрация в приземном слое поглощающего вещества в эквиваленте черного углерода (eBC). В настоящей работе представлены результаты сопоставления этих характеристик с данными реанализа MERRA-2.

Сравнение среднечасовых значений  $\tau_{0,55}^a$  показало, что корреляция между измеренными и модельными величинами статистически значима (по уровню 0,05) составляет 0,67 и 0,58 для Баренцбурга и Мыса Баранова соответственно. Различия между измеренными и модельными значениями имеют достаточно широкое распределение при среднем значении  $-0,006 \pm 0,026$  в Баренцбурге и  $-0,018 \pm 0,028$  на Мысе Баранова. Результаты аналогичного сопоставления величин eBC следующие. Корреляция между часовыми значениями статистически значима, но очень слабая: 0,08 (Баренцбург) и 0,02 (Мыс Баранова). Различия в среднем составляют:  $17,3 \pm 105,5$  (Баренцбург) и  $-7,6 \pm 295,9$  нг/м<sup>3</sup> (Мыс Баранова). Также рассматриваются закономерности сезонной изменчивости различий между измеренными и модельными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 21-77-20025).

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ НА ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ «МЫС БАРАНОВА» И «БАРЕНЦБУРГ» В 2023 г.**

**Д.М. Кабанов<sup>1</sup>, Д.Г. Чернов<sup>1</sup>, М.А. Лоскутова<sup>2</sup>, А.С. Масловский<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия*  
*dkab@iao.ru*

Актуальность исследований арктического аэрозоля обусловлена его важной ролью в процессах распространения оптического излучения и в формировании климата. Для изучения аэрозольного состава арктической атмосферы проводятся регулярные, круглогодичные измерения характеристик атмосферного аэрозоля на двух полярных станциях: «Ледовая база „Мыс Баранова“» (о-в Большевик, арх. Северная Земля) и «Баренцбург» (арх. Шпицберген).

В ходе экспедиций измеряются оптические (аэрозольная оптическая толщина и влагосодержание атмосферы), и микрофизические характеристики аэрозоля (счетные концентрации частиц, объемы частиц мелко- и грубодисперсного аэрозоля, массовые концентрации аэрозоля и поглощающего вещества (сажи) в эквиваленте черного углерода).

В докладе проводится предварительный анализ статистических характеристик аэрозоля и особенности их изменчивости в 2023 г. Поскольку регулярные измерения на станции «Баренцбург» ведутся с 2011 г., а на станции «Мыс Баранова» с 2018 г., в докладе также проводится сравнение с данными многолетних измерений.

Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта ИОА СО РАН № 121031500342-0. Измерения характеристик аэрозоля проводились по теме НИТР 5.1.4 «Мониторинг состояния и загрязнения природной среды, включая криосферу, в Арктическом бассейне и районах научно-исследовательского стационара «Ледовая база „Мыс Баранова“», Гидрометеорологической обсерватории Тикси и Российского научного центра на арх. Шпицберген».

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ВЫСОКОШИРОТНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА

М.Ю. Шиховцев<sup>1,2</sup>, И.И. Маринайте<sup>1</sup>, Н.А. Онищук<sup>1</sup>, Л.П. Голобокова<sup>1</sup>,  
А.О. Почуфаров<sup>2</sup>, И.А. Круглинский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.И. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
Max97Irk@yandex.ru

Работа посвящена изучению химического состава атмосферного аэрозоля, отобранного в высокоширотных районах мирового океана в результате многолетних исследований. В докладе представлены предварительные результаты концентраций основных ионов, микроэлементов и полиароматических углеводородов в атмосферном воздухе. Для определения ионного и микроэлементного состава аэрозоль собирали на целлюлозно-бумажные фильтры Whatman-41; для исследования состава ПАУ применяли кварцевые фильтры Whatman QM-A. Для анализа ионного состава фильтр подвергали экстракции бидистиллированной водой в ультразвуковой бане. В профильтрованном полученном растворе определяли ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и измеряли величины pH. Ионный состав аэрозоля анализировали на безреагентной системе ICS-3000 (США, Dionex). Элементный состав (Li, Be, B, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Pb, Th, U, Ag, Tl) в аэрозольных пробах определяли на массспектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent-7500 CE (США, Agilent Technologies Int). Показаны широтные различия в пространственно-временном распределении поллютантов в Карском, Баренцевом, Печорском, Белом морях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 21-77-20025).

# **КРУГЛЫЙ СТОЛ «ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ: МЕТОДЫ, АППАРАТУРА, ИССЛЕДОВАНИЯ»**

## **СЧЕТЧИК ФОТОНОВ С РЕГИСТРАЦИЕЙ ЛИДАРНЫХ СИГНАЛОВ В СЧЕТНО-АНАЛОГОВОМ РЕЖИМАХ**

**Н.Г. Зайцев**

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

В лазерном зондировании атмосферы, возможны ситуации, когда принятый сигнал в ближней зоне сильный и является аналоговым, а в дальней зоне слабый с редкими событиями. Применение только аналого-цифровых преобразователей или только счетчиков фотонов не позволяет достичь корректности измерений по всей трассе. Корректность измерений по всей трассе достигается за счет совмещения регистрации лидарных сигналов в аналоговом режиме и режиме счета фотонов с применением ФЭУ, которые способны работать в счетно-аналоговом режиме.

Основываясь на сформулированной проблеме и ее решении разработан счетчик фотонов с регистрацией лидарных сигналов в счетно-аналоговом режимах.

Счетчик содержит один канал и состоит из аналогового модуля и модуля обработки.

На вход аналогового модуля подключается выход ФЭУ, а на выходах формируются счетные импульсы после дискриминатора и усиленный дифференциальный аналоговый сигнал. Небольшие размеры аналогового модуля (80 мм × 50 мм × 25 мм) позволяют разместить его в непосредственной близости от ФЭУ, тем самым снизить уровень шума от электромагнитных помех.

Модуль обработки включает АЦП с программно-управляемыми аттенуаторами на входе для выбора масштабирования аналогового сигнала и счетчик импульсов (фотонов). Обработчик счетно-аналоговых данных реализован в ПЛИС. Наличие сетевого файлового хранилища позволяет сохранять и обрабатывать полученные из эксперимента данные непосредственно в счетчике. Кроме этого, поддержка сетевых протоколов позволяет использовать счетчик удаленно. Управление, настройка счетчика, а также скачивание накопленных экспериментальных данных выполняется по сети Ethernet по протоколу TCP. Для работы счетчика не требуется постоянная связь (реализован режим автономной работы).

В докладе представлен разработанный счетчик фотонов с регистрацией лидарных сигналов в счетно-аналоговом режимах, его характеристики и преимущества выбранного решения. Выполнено сравнение со счетчиками других производителей (Licel, SRS).

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА АТОМСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ОЗЕРОМ БАЙКАЛ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД**

**Ю.С. Балин, М.Г. Клемашева, Г.П. Коханенко, С.В. Насонов, М.М. Новоселов, И.Э. Пеннер**

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

В работе представлены результаты проведенных экспериментальных исследований атмосферы в летний период 2015–2022 гг., над территорией оз. Байкал. Измерения проводились с использованием аэрозольно-рамановских лидаров серии «ЛЮЗА». Показаны характерные механизмы формирования сложной высотной структуры аэрозоля в горной котловине озера, за счет орографических особенностей региона и связанных с ними специфическими циркуляциями воздушных потоков в пограничном слое атмосферы.

Обработка и анализ данных проводились в рамках проекта РНФ № 22-77-10043.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИДАРНЫХ СИГНАЛОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

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

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

В экспедиции «Байкал-2023» на лидарной системе «ЛЮЗА-А2» измерялись сигналы упругого рассеяния, аналоговый режим регистрации на длинах волн 532 и 1064 нм. Методика позволяет определять коэффициент обратного рассеяния  $\beta_{aer}$  ( $\lambda_0 = 532$  нм,  $h$ ) от  $h_{min} = 0,4 \pm 0,1$  км над поверхностью Земли до  $h_{max} = 18$  км с шагом 1,2 м. В ночное время, дополнительно, регистрировались сигналы на смещенных длинах волн в режиме счета фотонов:  $\lambda_{R1} = 607$  нм (колебательно-вращательное комбинационное рассеяние, оценка  $\beta_{aer}$  и коэффициента ослабления  $\sigma_{aer}$  от  $h_{min} = 0,8 \pm 0,2$  км до  $h_{max} = 7 \pm 1$  км) и  $\lambda_{R2} = 530$  нм (чисто-вращательное КР,  $h_{min} = 3,5 \pm 1$  км,  $h_{max} = 14,4$  км) с шагом 48 м. Цель настоящей работы состоит в том, чтобы выделить особенности оценивания аэрозольной оптической толщи  $\tau_{aer}$  ( $\lambda_0 = 532$  нм,  $h$ ) по УР + КР сигналам с учетом различной структуры атмосферного поля в PBL и свободной тропосфере.

## ЗОНДИРОВАНИЕ БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВО ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЕ КАРСКОГО МОРЯ ЛИДАРОМ С БОРТА САМОЛЕТА

Ю.С. Балин, Г.П. Коханенко, М.Г. Клемашева, С.И. Насонов, М.М. Новоселов, И.Э. Пеннер

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

В сентябре 2022 г. был проведен комплексный эксперимент по исследованию аэрозольно-газового состава тропосферы российского сектора Арктики с борта самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик». При полетах над Карским морем выполнялось зондирование поверхностной водной толщи лидаром с борта самолета. На отдельных участках полета было сопровождение измерений научно-исследовательским судном «Академик Мстислав Келдыш». Представлены результаты самолетных лидарных измерений пространственного распределения относительной концентрации хлорофилла-*a* поверхностных вод Карского моря. Концентрация хлорофилла определяется методом лазерно-индуцируемой флуоресценции, возбуждаемой второй гармоникой YAG:Nd на длине волны 532 нм. Для нормировки одновременно осуществлялась регистрация интенсивности сигнала спектра комбинационного рассеяния излучения воды. Результаты пространственного распределения нормированной интенсивности флуоресценции получены для трех участков Карского моря, включая район материкового стока р. Обь возле о-ва Белый. Для двух участков моря пространственное распределение интенсивности флуоресценции достаточно однородное с коэффициентами вариации 9 и 15%. Синхронные измерения *in-situ* с борта судна и дистанционные с борта самолета на этих участках позволили оценить размерный калибровочный коэффициент  $k_{cl} = 1,03 \pm 0,09$  мкг/л. Третий участок характеризуется мощным влиянием материкового речного стока, что проявляется в наличие резких фронтальных зон с масштабами 5–10 км, где коэффициент вариации, измеренной относительной концентрации хлорофилла-*a*, достигает 40%. Рассмотрены сопутствующие гидрофизические условия, которые могли повлиять на столь значительные изменения по трассе зондирования на данном участке.

## СТРУКТУРА ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ОЗЕРОМ И НА ПОБЕРЕЖЬЕ БАЙКАЛА

Г.П. Коханенко, Ю.С. Балин, М.Г. Клемашева, С.В. Насонов, И.Э. Пеннер

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

Приведены результаты исследований вертикальной структуры аэрозольных полей в тропосфере, проводившиеся в период с 2010 по 2021 гг. в пос. Боярский на юго-восточном побережье Байкала. Измерения проводились с помощью аэрозольно-рамановского лидара ЛЮЗА-М2 в летнее время (июль-август). Всего за этот период проведено 93 цикла суточных наблюдений. В докладе приводятся типичные картины трансформации аэрозольных слоев в различных синоптических условиях. Особое внимание в докладе уделяется

связи структуры пограничного слоя с направлением перемещения воздушных масс. При преобладающем в месте наблюдения юго-восточном ветре, направленном вдоль берега, наблюдается характерная суточная динамика пограничного слоя с развитием слоя перемешивания при дневном прогреве поверхности. При заносе воздушных масс, сформированных над холодной поверхностью озера, преобладает слоистая структура без выраженных восходящих движений аэрозоля.

В докладе приводятся наблюдения трансформации аэрозольных слоев при различных направлениях перемещения воздушных масс

# КРУГЛЫЙ СТОЛ «ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ В СЛУЧАЙНЫХ СРЕДАХ»

## О ПРИМЕНЕНИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ И КОРРЕКТИРУЮЩИХ СИСТЕМ

В.П. Лукин

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

В докладе рассматривается вопрос корректности использования гармонического сигнала для моделирования работы, например, системы адаптивной оптики, корректирующей турбулентные искажения. Известно, что временная эволюция любой функции, зависящей от пространственных координат и от времени, на коротком временном интервале  $T$  может быть представлена в виде урезанного ряда Тейлора. Используя это разложение, например, для фазовых флуктуаций оптической волны, прошедшей через турбулентную среду, согласно теории турбулентности, можно применить гипотезу «замороженной турбулентности», и тогда временную производную флуктуаций фазы  $dS/dt$  можно записать как скалярное произведение вектора скорости ветра  $\mathbf{V}(V_x, V_y)$  и пространственного градиента фазы  $\nabla_\rho S(\rho, t)$ . Введем параметр  $\Omega = V_x/R$ , которая соответствует частоте переноса ветром турбулентных неоднородностей через апертуру  $R$ .

При анализе рассчитаем отношение дисперсии остаточных искажений при коррекции самой функции и ее первой производной к такой же величине при коррекции только самой функции. На основе использования значений дисперсий модовых составляющих получаем

$$\Delta_T = \frac{\langle \left[ S(\rho, t+T) - S(\rho, t) - \frac{\partial S}{\partial x} V_x T \right]^2 \rangle}{\langle [S(\rho, t+T) - S(\rho, t)]^2 \rangle} \approx 0,04\Omega^2 T^2. \quad (1)$$

Далее рассмотрим применение в качестве модулирующего гармонический сигнал  $S(t) = \sin \omega t$ , где  $\omega$  – частота временных изменений.

Также рассчитаем отношение дисперсий при использовании гармонического сигнала, получаем

$$\Delta_T = \frac{\langle [\sin \omega(t+T) - \sin \omega t - \omega T \cos \omega t]^2 \rangle}{\langle [\sin \omega(t+T) - \sin \omega t]^2 \rangle} = \frac{\omega^2 T^2}{4}. \quad (2)$$

Сравнение выражений (1) и (2) при равенстве частот  $\omega = \Omega$  показывает, что спад гармонического сигнала с увеличением номера производной, происходит медленнее, чем в случае турбулентности, их отношение много больше единицы. Это связано с тем, что для гармонического сигнала существуют любые ненулевые производные, а для турбулентных сигналов имеет место ограничение практически первой производной.

Данное обстоятельство следует учитывать, используя гармонические сигналы при испытаниях измерительных и корректирующих систем.

## СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЧКА, НАЧАЛЬНАЯ ФАЗА КОТОРОГО ЗАДАЕТСЯ ПОЛИНОМАМИ ЦЕРНИКЕ И ФАЗОВЫМ ЭКРАНОМ, МОДЕЛИРУЮЩИМ АТМОСФЕРНУЮ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ. ТОЧНОСТЬ АППРОКСИМАЦИИ ЭКРАНА ПОЛИНОМАМИ

Ф.Ю. Канев, Н.А. Макенова, И.Д. Веретехин

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

В настоящем докладе с привлечением методов численного эксперимента рассмотрены две проблемы: во-первых, показано, что при задании начальной фазы гауссова пучка суммой полиномов Цернике или экраном, моделирующим атмосферную турбулентность, в процессе распространения в его волновом фронте появляются особые точки, число которых зависит от характеристик вносимых искажений и пройденного пучком расстояния. В обоих примерах (полиномы и экран в качестве начальной фазы) распределение оптических вихрей удовлетворяло требованиям центральной предельной теоремы, но совершенно различной являлась зависимость числа особых точек и интегральных параметров излучения от пройденного пучком расстояния.

Второй задачей, результаты решения которой обсуждаются в докладе, являлась проблема аппроксимации фазового экрана полиномами. На начальном этапе решения фаза задавалась полиномами и аппроксимировалась полиномами. Было показано, что для получения удовлетворительной точности число полиномов в базе аппроксимации должно быть большим, чем число полиномов, задающих искажения. При аппроксимации фазового экрана удовлетворительная точность была достигнута только для значений радиуса Фрида соответствующих малой интенсивности искажений или при значениях внутреннего масштаба турбулентности, сравнимых с размерами пучка.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ МАСШТАБАМИ КОРРЕЛЯЦИИ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ АТМОСФЕРЕ

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

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

Приведены экспериментальные результаты для масштабов временной и пространственной корреляции флуктуаций температуры в термически стратифицированной турбулентной атмосфере. Данные получены в процессе длительных наблюдений в 2021 г. на территории экспериментального комплекса ИОА СО РАН. Для измерений характеристик турбулентных метеополей использована ультразвуковая станция АМК-03-4.

При увеличении разноса между двумя точками потока корреляция характеристик потока уменьшается, и флуктуации характеристик становятся статистически независимы. Для практических целей значительный интерес представляют значения аргументов  $\tau_k$ ,  $r_k$  временного и пространственного коэффициентов корреляции, при которых происходит его существенное убывание. При этом значение  $\tau_k$  называется масштабом временной корреляции или временем корреляции, а  $r_k$  – масштабом пространственной корреляции или радиусом корреляции.

Установлены связи различных временных и пространственных масштабов корреляции метеопараметров при изменении стратификации атмосферы от неустойчивой к устойчивой стратификациям. Проведено сравнение абсолютных интегральных  $\tau_*$ ,  $r_*$  (интеграл от модуля коэффициента корреляции в диапазоне от нуля до бесконечности) и экспоненциальных  $\tau_{1/e}$ ,  $r_{1/e}$  масштабов корреляции температуры в стратифицированной атмосфере для трехминутных реализаций. При этом экспериментальные значения традиционных интегральных масштабов (интеграл от коэффициента корреляции от нуля до бесконечности) оказываются близкими к нулю. Показано, что зависимость значений абсолютного интегрального масштаба от параметра стратификации атмосферы подобна поведению экспоненциального масштаба корреляции. Интегральные масштабы больше экспоненциальных масштабов приблизительно в 3–8 раз:  $\tau_* = C_\tau \tau_{1/e}$ ,  $r_* = C_r r_{1/e}$ , где осредненные по 24 реализациям константы имеют значения  $C_\tau = 4,83$ ,  $C_r = 4,75$ .

Настоящая работа является обобщением и расширением данных предыдущих исследований.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики (проект «Физика высоких плотностей энергии. Этап 2023-2025») в части расчетно-теоретических исследований возможности детектирования турбулентности разных типов. Разработка методологии измерений, анализа и расчетов выполнена в рамках государственного задания.

## СТАТИСТИКА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

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

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

Приводится экспериментальная статистика для различных временных и пространственных масштабов корреляции флуктуаций температуры и скорости ветра при изменении стратификации атмосферы от неустойчивой стратификации к устойчивой стратификации. Результаты получены в процессе длительных наблюдений в 2019 г. в горных условиях Саянской солнечной обсерватории и на территории экспериментального комплекса ИОА СО РАН (г. Томск, 2021). Для измерений использована ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения характеристик турбулентных метеополей.

Показано, что в области неустойчивой стратификации временные и пространственные абсолютные интегральные масштабы корреляции  $\tau_*$ ,  $r_*$  (интеграл от модуля коэффициента корреляции от нуля до бесконечности) в среднем слабо уменьшаются от уровня 18–29 с до уровня 13–25 с. При безразличной стратификации значения временных масштабов меньше – от 4 до 12 с. При устойчивой стратификации интегральные временные масштабы в среднем также медленно возрастают от уровня 4–10 с до 15 с, что меньше, чем при неустойчивой стратификации. Пространственные интегральные масштабы корреляции в области неустойчивой стратификации в среднем остаются приблизительно постоянными на уровне 3–8 м. При безразличной стратификации – в среднем имеют большие значения от 5 до 15 м, а в устойчивой стратификации возрастают еще до значений 14–25 м.

Показано, что графики для временных масштабов  $\tau_k$  ( $\tau_*$ ,  $\tau_{1/2}$ ,  $\tau_{1/e}$ ,  $\tau_{1/10}$ ,  $\tau_0$ ), как и для пространственных  $r_k$ , хорошо согласуются между собой и демонстрируют подобные изменения при переходе от неустойчивой стратификации к устойчивой стратификации. Показано, что масштабы временной корреляции  $\tau_k$  в среднем уменьшаются при неустойчивой стратификации, минимальны при безразличной стратификации и снова увеличиваются в устойчивой стратификации. Масштабы пространственной корреляции  $r_k$  в среднем растут при переходе от безразличной к устойчивой стратификации. Средние отношения  $\langle \tau_k / \tau_0 \rangle$  и  $\langle r_k / r_0 \rangle$  для масштабов корреляции температуры и масштабов скорости ветра имеют близкие значения с небольшой погрешностью.

Настоящая работа является обобщением и расширением данных предыдущих исследований.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики (проект «Физика высоких плотностей энергии. Этап 2023-2025») в части расчетно-теоретических исследований возможности детектирования турбулентности разных типов. Разработка методологии измерений, анализа и расчетов выполнена в рамках государственного задания.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ

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, lukin@iao.ru, nev@iao.ru, torgaev@iao.ru*

Исследованы возможности определения типа атмосферной турбулентности (колмогоровской, когерентной [1]) по данным измерений, поступающим в оперативном режиме.

В основе исследования лежит спектральный анализ последовательных выборок скользящим временным окном из совокупности данных, непрерывно пополняемой в оперативном режиме – путем добавления к сохраненным рядам новых данных измерений по мере их поступления. Тип турбулентности определяется по величине наклона инерционного интервала спектра турбулентных флуктуаций.

Установлено, что для определения типа атмосферной турбулентности требуется решение следующих задач:

- непрерывное пополнение совокупности данных измерений;
- формирование последовательных выборок скользящим окном из пополняемой совокупности;
- определение оптимальных значений параметров скользящего окна;
- определение оптимальной частоты дискретизации;
- вычисление временного частотного спектра турбулентных флуктуаций;
- оценка наклона инерционного интервала спектра;

- вывод о типе турбулентности;
- определение момента события перемены типа турбулентности.

Показано, что в оперативном режиме можно оценивать пространственные размеры областей турбулентности определенного типа, а также другие характеристики турбулентности.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики (проект «Физика высоких плотностей энергии. Этап 2023-2025») в части расчетно-теоретических исследований возможности детектирования турбулентности разных типов. Разработка методологии измерений, анализа и расчетов выполнена в рамках государственного задания.

1. Носов В.В., Лукин В.П., Ковадло П.Г., Носов Е.В., Торгаев А.В. Перемежаемость колмогоровской и когерентной турбулентности в горном пограничном слое (обзор) // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 9. С. 726–749. DOI: 10.15372/AOO20210909.

## СПИНОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА В ПАРАКСИАЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКАХ

В.В. Котляр, А.А. Ковалев

*ИСОИ РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Самара, Россия  
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Россия*

Исследован параксиальный векторный гауссов пучок с несколькими поляризационными сингулярностями (V-точками), расположенными равномерно на окружности. Такой пучок является суперпозицией цилиндрически поляризованного пучка Лагерра–Гаусса с линейно поляризованным гауссовым пучком. Показано, что, несмотря на линейную поляризацию в начальной плоскости, при распространении в пространстве формируются чередующиеся области с плотностью спинового углового момента разного знака, что свидетельствует о спиновом эффекте Холла. Установлено, что в любой поперечной плоскости максимальный по величине спиновый угловой момент достигается на окружности определенного радиуса. Получено приближенное выражение для расстояния до поперечной плоскости с максимальной плотностью спинового углового момента. Кроме того, получен радиус окружности с сингулярностями, для которого достижимая плотность спинового углового момента максимальна. Обнаружено, что в этом случае энергии пучков Лагерра–Гаусса и Гаусса равны. Получено выражение для плотности орбитального углового момента и установлено, что она равна плотности спинового углового момента, умноженной на  $-m/2$ , где  $m$  – порядок пучка Лагерра–Гаусса, равный числу поляризационных сингулярностей. Рассмотрена аналогия с плоскими волнами и обнаружено, что спиновый эффект Холла возникает из-за разной расходимости у линейно поляризованного Гауссова пучка и у цилиндрически поляризованного пучка Лагерра–Гаусса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 22-2200265).

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ УЗКОПОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИСКАЖЕНИЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ДЛЯ СОЛНЕЧНОГО ТЕЛЕСКОПА (CONSTRUCTING NARROW-FIELD SYSTEM OF WAVEFRONT DISTORTION CHARACTERISTICS RETRIEVING FOR A SOLAR TELESCOPE)

А.Ю. Шиховцев<sup>1</sup>, П.Г. Ковадло<sup>1,2</sup>, В.П. Лукин<sup>2</sup>, С.А. Чупраков<sup>1</sup>, А.В. Киселев<sup>1,2</sup>, И.В. Русских<sup>1,2</sup>, М.Б. Дрига<sup>1</sup>, L. Zhang<sup>3,4</sup>, X. Ran<sup>3,4,5</sup>, C. Rao<sup>3,4,5</sup>

<sup>1</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

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

<sup>3</sup>*The Key Laboratory on Adaptive Optics, Chinese Academy of Sciences, PO Box 350, Shuangliu, Chengdu 610209, Sichuan, China*

<sup>4</sup>*The Laboratory on Adaptive Optics, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, PO Box 350, Shuangliu, Chengdu 610209, Sichuan, China*

<sup>5</sup>*University of Chinese Academy of Sciences, No. 19A Yuquan Road, Beijing 100049, China  
Ashikhovtsev@iszf.irk.ru*

Настоящее исследование направлено на обсуждение особенностей построения узкопольных систем адаптивной оптики для солнечных телескопов наземного базирования, которая бы обеспечивала корректное определение искажений волнового фронта, формирующихся за счет мелкомасштабной турбулентности по лучу зрения. Подход, основанный на определении искажений волнового фронта в пределах узкого поля зрения солнечного телескопа, от 7 до 15 угл. с, по нашему мнению, должен позволить повысить качество

коррекции мелкомасштабных турбулентных искажений. Предварительные результаты расчетов для мест расположения Большого Солнечного Вакуумного Телескопа (БСВТ) и Нового Вакуумного Солнечного Телескопа (NVST) показывают, что размер поля зрения изменяется под действием вариаций интенсивности оптической турбулентности по лучу зрения. В работе приводятся характеристики оптической турбулентности, оцененные с помощью обработки данных измерений, выполненных с помощью датчиков Шека–Гартмана БСВТ и NVST. Первичные (модельные) оценки показывают, что изопланатический угол атмосферной толщи в месте расположения NVST несколько выше (в 1,2–1,4 раза), в сравнении с углом, обусловленным атмосферными условиями над БСВТ. Основываясь на соотношении изопланатических углов атмосферной толщи для мест расположения NVST и БСВТ, оптимальный размер поля зрения «глубокой» детекции искажений волнового фронта для NVST оказывается немногим выше. На примере БСВТ приведены первые результаты по моделированию узкопольной системы определения искажений волнового фронта, основанной на использовании двух идентичных датчиков Шека–Гартмана. Результаты получены с использованием Уникальной научной установки Большой солнечный вакуумный телескоп <http://ckp-rf.ru/usu/200615/>.

Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант № 23-42-00043).

### **МОНИТОРИНГ ОПТИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В МЕСТАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ БСВТ И NVST В ЦЕЛЯХ РАЗВИТИЯ УЗКОПОЛЬНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОЙ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ (MONITORING OF OPTICAL TURBULENCE AT THE SITES OF LSVT AND NVST FOR THE DEVELOPMENT OF NARROW-FIELD SOLAR ADAPTIVE OPTICS SYSTEMS)**

**П.Г. Ковадло<sup>1,2</sup>, А.Ю. Шиховцев<sup>1</sup>, L. Zhang<sup>3,4</sup>, X. Ran<sup>3,4,5</sup>, C. Rao<sup>3,4,5</sup>**

<sup>1</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

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

<sup>3</sup>*The Key Laboratory on Adaptive Optics, Chinese Academy of Sciences, PO Box 350,  
Shuangliu, Chengdu 610209, Sichuan, China*

<sup>4</sup>*The Laboratory on Adaptive Optics, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences,  
PO Box 350, Shuangliu, Chengdu 610209, Sichuan, China*

<sup>5</sup>*University of Chinese Academy of Sciences, No. 19A Yuquan Road, Beijing 100049, China  
kovadlo2006@rambler.ru*

Одной из принципиальных задач солнечной астрономии является развитие систем адаптивной оптики, корректирующих оптические искажения в режиме реального времени в целях достижения высокого пространственного и временного разрешений. Принципиально, в работе обсуждаются проблемы согласования параметров датчиков волнового фронта (Шека–Гартмана), работающих в пределах узких полей зрения, с реальными атмосферными условиями. Предполагается, что каждый датчик должен быть ориентирован на работу в своем узком поле зрения, от 7 до 15 угл. с, в пределах общего поля размером около 2 угл. мин. Обсуждаются деформации вертикальных профилей оптической турбулентности для мест расположения БСВТ и NVST в приложении к развитию мультисопряженных и объектно-ориентированных систем адаптивной оптики. Результаты получены с использованием Уникальной научной установки Большой солнечный вакуумный телескоп <http://ckp-rf.ru/usu/200615/>.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-42-00043).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МАКЕТЕ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, РЕАЛИЗУЮЩЕМ КОГЕРЕНТНОЕ НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ СВЕТА

И.Ю. Возмищев<sup>1</sup>, М.А. Глухов<sup>2</sup>, В.В. Клейменов<sup>1</sup>, М.О. Колтыгин<sup>2</sup>,  
Р.С. Кузин<sup>2</sup>, О.В. Кулагин<sup>3</sup>, В.П. Лукин<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт лазерно-физических исследований, г. Саров, Россия

<sup>3</sup>Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

<sup>4</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Повышение эффективности работы атмосферных адаптивных оптических систем (АОС), работающих в географических районах России со сложными условиями астроклимата, в том числе в дневное время, является актуальной задачей.

Одним из условий эффективной работы контура АОС является обеспечение в датчике волнового фронта отношения сигнал/шум  $\geq 5$  [1]. В связи с этим в качестве отдельного направления исследований можно выделить работы, связанные как с повышением энергетики излучения от опорных источников, так и с применением различных методов приема и селекции обратно рассеянного сигнала от них.

С целью исследования возможности решения указанной задачи с помощью технологии когерентного нелинейно-оптического усиления света от лазерной опорной звезды (ЛОЗ) разработан специальный макет АОС, основу которого составляют приемники-усилители излучения от ЛОЗ на эффекте вынужденного комбинационного рассеяния, адаптивное зеркало с повышенным быстродействием и блок управления на базе ПЛИС.

Представлены первые экспериментальные результаты приема и когерентного усиления слабого сигнала от релейской ЛОЗ. Коэффициент усиления в разработанном приемнике составил около  $10^6$ , при котором обеспечено требуемое отношение сигнал/шум.

1. *Hardy J.W.* Adaptive Optics for Astronomical Telescopes. Oxford: Oxford University Press, 1998. 438 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ МАЛОЗАМЕТНОЙ ЗВЕЗДЫ В ФОКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ НАЗЕМНОГО ОПТИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ОПОРНОГО ИСТОЧНИКА

В.В. Клейменов, И.Ю. Возмищев, Е.В. Новикова

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия  
vka@mil

При наблюдении звезды слабой яркости принимаемого от нее излучения может быть недостаточно для коррекции атмосферных искажений с помощью адаптивной оптической системы (АОС) на фоне внутренних и внешних (атмосферных) шумов. В связи с этим в зарубежных наземных крупноапертурных оптических телескопах широкое применение находят искусственные опорные источники (лазерные опорные звезды), формируемые в поле зрения АОС. Для ее эффективной работы необходимо за время короткой экспозиции определить вектор смещения изображения малозаметной звезды относительно центра фокальной плоскости телескопа.

Получены аналитические выражения для модуля вектора и величины углового смещения прогнозируемого (расчетного) положения малозаметной звезды на основе полученных ранее [1] коэффициента корреляции и дисперсий случайных смещений изображений естественной и искусственной звезд. На их основе проведены расчеты для моностатической и бистатической схем формирования лазерных опорных звезд.

1. *Клейменов В.В., Новикова Е.В.* Анализ эффективности моностатической и бистатической схем формирования ЛОЗ на основе корреляционной теории гауссовых случайных процессов // Оптика атмосф. и океана. 2023. Т. 36, № 4. С. 331–336.

## ЗВЕЗДНЫЙ КОРОНОГРАФ С АДАПТИВНОЙ ОПТИКОЙ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКЗОПЛАНЕТ ДЛЯ ВНЕАТМОСФЕРНОГО ТЕЛЕСКОПА

А.В. Тавров, А.В. Юдаев, И.А. Шашкова, И.В. Шульгина

Институт космических исследований РАН (ИКИ РАН), г. Москва, Россия  
tavrov@iki.rssi.ru

В астрономическом изображении для наблюдения экзопланеты (Земного типа) в дифракционной окрестности звезды (Солнечного типа) в видимом диапазоне длин волн развиваются методы улучшения контраста. Сигнал планеты имеет интенсивность  $10^{-9} - 10^{-10}$  максимума функции рассеяния точки (ФРТ) родительской звезды, что требуется зарегистрировать на фоне рассеянного сигнала звезды [1–3] на астроцентрическом расстоянии  $1 - 10\lambda/D$  ( $\lambda$  – длина волны,  $D$  – диаметр телескопа). Такие методы называют высококонтрастными или *коронаграфическими*, поскольку для регистрации слабого сигнала уменьшают фоновый сигнал более интенсивного сигнала посредством звездного коронаграфа. Применение методики улучшения контраста планеты на фоне звезды обусловлено ограниченным динамическим диапазоном фотоприемного детектора сигнала ССД ( $\sim 10^4$ ). Астрономическое изображение формируется оптикой телескопа, которая имеет дифракционные эффекты и эффекты рассеяния. Дифракционный и рассеянный компоненты изображения звезды создают фон изображения, превышающий по уровню сигнала динамические характеристики фотоприемника, поэтому детектирование слабого сигнала экзопланеты на этом фоне затруднено и требует специальных средств прецизионной адаптивной коррекции волнового фронта до уровня  $\lambda/100 - \lambda/1000$ .

В сообщении освещена разрабатываемая методика в части измерения и коррекции волнового фронта для визуализации экзо-Земли в окрестности звезды типа Солнца на удалении до 20 пк, с контрастом изображения  $10^9$  и точностью коррекции лучше  $\lambda/500$  на управляемых  $500 \times 500$  пикселях в применении на орбитальном телескопе метрового класса.

Авторы признательны правительству РФ и Министерству высшего образования и науки РФ за поддержку (грант № 075-15-2020-780, N 13.1902.21.0039).

1. Traub W., Oppenheimer B. Direct imaging of exoplanets // in Exoplanets, S. Seager (ed.). Arizona: University of Arizona Press, Tucson, 2011. P. 111–156. URL: <https://www.amnh.org/content/download/53052/796511/file/DirectImagingChapter.pdf>
2. Yudaev A., Kiselev A., Shashkova I., Tavrov A., Lipatov A., Korablev O. Wavefront Sensing by a Common-Path Interferometer for Wavefront Correction in Phase and Amplitude by a Liquid Crystal Spatial Light Modulator Aiming the Exoplanet Direct Imaging Photonics. 2023. V. 10. P. 320. DOI: 10.3390/photonics10030320. URL: <https://www.mdpi.com/2304-6732/10/3/320>
3. Юдаев А.В., Шашкова И.А., Киселев А.В., Комарова А.А., Тавров А.В. Коррекция волнового фронта для наблюдения экзопланеты на фоне дифракционной окрестности звезды // ЖЭТФ. 2023. Т. 163, вып. 2. С. 131–152. DOI: 10.31857/S0044451023020013. URL: [https://sciencejournals.ru/view-article/?j=jETF&y=2023&v=163&n=2&a=JETF\\_2302001Iudaev](https://sciencejournals.ru/view-article/?j=jETF&y=2023&v=163&n=2&a=JETF_2302001Iudaev).

## ОПЫТ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ ФОТОНИКИ НА КАФЕДРЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ТУСУР

С.М. Шандаров, Н.И. Буримов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия  
stanislavshandarov@gmail.com

Основной задачей университетской кафедры является подготовка специалистов, соответствующая современному уровню развитию науки, техники и технологии. Важную роль при этом играет организация учебного процесса и научных исследований, базирующаяся на многолетнем опыте и квалификации преподавателей и научных сотрудников.

В настоящем сообщении представлены сведения о кафедре Электронных приборов (ЭП) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), относящиеся к используемым программам подготовки бакалавров и магистров, тематике и результатам научных исследований, и опыту подготовки бакалавров, магистров, аспирантов и молодых ученых. Целью учебной деятельности кафедры ЭП является подготовка бакалавров, магистров и кадров высшей квалификации для отраслей электроники, нанoeлектроники, фотоники и лазерных технологий с использованием базовой фундаментальной подготовки в области электроники, волноводной фотоники, когерентной и нелинейной оптики и оптического материаловедения. Рассматриваются особенности учебного плана бакалавриата на примере направления

«Фотоника и оптоинформатика» и содержание подготовки магистров; анализируются направления научных исследований студентов и аспирантов; приведены сведения о научно-техническом сотрудничестве кафедры ЭП ТУСУР с другими организациями; обсуждаются результаты участия студентов и аспирантов в проводимых для них конкурсах.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки и высшего образования РФ в рамках госзадания FEWM-2023-012 на 2023 г.

1. Hase F., Blumenstock T., Paton-Walsh C. // Appl. Opt. 1999. V. 38, N 15. P. 3417–3422.

## ПРОБЛЕМЫ КОРРЕКЦИИ НАКЛОНА ВОЛНОВОГО ФРОНТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ЛАЗЕРНЫХ ОПОРНЫХ ЗВЕЗД

В.П. Лукин, Л.А. Больбасова, В.В. Носов

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

Проблема коррекции наклона волнового фронта связана с тем, что, как правило, при формировании лазерной опорной звезды (ЛОЗ) в турбулентной атмосфере используется фокусировка лазерного пучка излучения, что приводит к тому, что в фокусе телескопа, формируемая картина распределения света оказывается практически неподвижной. **Это обусловлено принципом обратимости флуктуаций.** В результате действия принципа обратимости моностатическая ЛОЗ, формируемая всей апертурой телескопа при осевом расположении выходящего лазерного пучка, из-за действия турбулентности атмосферы не меняет своего положения. В результате считается, что моностатическая ЛОЗ не может дать информацию об общем наклоне волнового фронта на входном зрачке телескопа. А поскольку флуктуации наклона волнового фронта имеют определяющее значения по величине своей дисперсии, то для их устранения используют сигнал дрожания изображения от ближайшей к наблюдаемому космическому объекту естественной звезды. Это увеличивает стоимость системы АО в целом. Альтернативный подход с использованием полихроматической ЛОЗ также наталкивается на ряд ограничений: это и высокая стоимость и трудности эксплуатации лазера для накачки ЛОЗ, а также высокие требования к точности измерения дрожания изображения ЛОЗ, выполняемых в разных частотных диапазонах. Мы предлагаем использовать традиционную моностатическую звезду, причем для выделения сигнала пропорционального углу наклона волнового фронта предлагается использовать зависимость дрожания изображения ЛОЗ от его углового размера. Кажется, что при этом следует отказаться от фокусировки лазерного излучения при формировании ЛОЗ. Выполнены эксперименты по измерению дрожания изображений малоcontrastных протяженных некогерентных источников в турбулентной атмосфере.

Исследования были выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 22-22-00289).

## ИССЛЕДОВАНИЕ АСТРОКЛИМАТА В ОБСЕРВАТОРИИ ТЕРСКОЛ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОЗ

Л.А. Больбасова<sup>1</sup>, Е.А. Копылов<sup>1,2</sup>, В.П. Лукин<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия  
sla@iao.ru*

Астрономическая обсерватория Терскол Института астрономии РАН находится на высоте 3150 м н.у.м. в 10 км от вершины Эльбруса (Кабардино-Балкария, Приэльбрусье, Россия). Главным инструментом обсерватории является телескоп Цейсс-2000 с диаметром главного зеркала 2 м. В докладе будут представлены результаты исследования сезонных изменений параметров астроклимата для обсерватории Терскол, том числе в связи с задачей разработки адаптивной оптики для телескопа «Цейсс-2000». Используются данные баз атмосферных реанализов, с помощью которых рассматриваемые параметры изучались в крупных астрономических обсерваториях, и выполнены натурные изменения вблизи телескопа. С учетом этих данных сделаны численные оценки достижимой яркости натриевой ЛОЗ.

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СТРУКТУРНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ РАЗЛОЖЕННОГО ПО ПОЛИНОМАМ ЦЕРНИКЕ ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА КРУГЛОЙ АПЕРТУРЕ

Д.А. Ягнятинский

*Акционерное общество «Научно-исследовательский институт  
Научно-производственное объединение «ЛУЧ», г. Подольск, Россия  
yagnyatinskiyda@sialuch.ru*

Во многих задачах адаптивной оптики с применением лазеров для анализа волнового фронта излучения требуется рассчитывать фазовую структурную функцию для анализа волнового фронта. Фазовый профиль рассматривается как некоторое поле – функция пространственных координат – и для нее структурная функция определяется как усредненная разность уровня фазы между всеми точками, разделенными одной дистанцией, берущейся в качестве аргумента функции.

Среди существующих публикаций в открытой литературе редко можно встретить работы, где уделяется внимание методу расчета фазовой структурной функции. Тем не менее, наши исследования показывают, что данный вопрос заслуживает детального рассмотрения. Структурную функцию можно вычислять численно, но существует также возможность и аналитического расчета. Мы обнаружили, что аналитический расчет структурной функции для полиномов Цернике и функций Карунена–Лозва в одной известной работе китайского ученого Гуан-мин Дай содержит ошибки – там не учитываются приграничные области апертуры.

В данной работе структурные и кросс-структурные функции для полиномов Цернике корректно рассчитаны аналитически с использованием для последних представления в декартовых координатах через степенные одночлены. Также проведен сравнительный анализ результатов нового аналитического расчета с аналитическим расчетом Гуан-мин Дай, а также с численным расчетом. Установлено, что разница между корректным аналитическим и численным расчетами как правило невелика, но в некоторых случаях может быть заметной (около 10%), если рассматривать волновой фронт на регулярной дискретной системе точек  $N \times N$  (вписанных в границу апертуры). Кроме того, аналитический расчет, в отличие от численного, не зависит от поворота рельефа волнового фронта вокруг оси апертуры. При первоначальном рассмотрении естественным способом численного расчета может показаться следующий алгоритм: сначала определять дистанции между всевозможными точками, затем сортировать их по возрастанию, после чего с заданным допуском отбирать дистанции для каждого аргумента структурной функции (например, 0,1; 0,2; ...; 1,9) – и для каждой из этих дистанций усреднять квадрат разности уровней фазы волнового фронта. Сравнения результатов аналитического расчета по двум формулам для некоторых простейших форм волнового фронта показывают, что в случае аберраций невысокого порядка результаты Гуан-мин Дай могут быть крайне неудовлетворительными. Если, например, для чистого дефокуса среднеквадратическое отклонение от истинного графика оказывается около 6%, то для чистых астигматизма и сферической аберрации результат очень сильно расходится с корректным (ошибка составляет несколько десятков процентов). Следует отметить интересный факт, что для Колмогоровских фазовых фронтов ошибка расчетов структурной функции по формулам Гуан-мин Дай становится сравнительно небольшой – 5–15%. Это можно объяснить большим глобальным наклоном Колмогоровских волновых фронтов (для наклонов все аналитические формулы корректны). В любом случае, результат данной работы свидетельствует о необходимости перехода к новым формулам расчета структурной функции волнового фронта на круглой апертуре: сначала следует аппроксимировать волновой фронт по базису полиномов Цернике, а затем использовать готовую новую формулу для структурной функции через коэффициенты Цернике.

## ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ И ЧИСЛА ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ НА ТРАССЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

И.Д. Веретехин, Ф.Ю. Канев, Н.А. Макенова

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

В численном эксперименте исследована зависимость интегральных характеристик излучения, таких как критерий фокусировки (мощность в пределах заданной апертуры), эффективный радиус и смещение энергетического центра пучка от интенсивности атмосферных искажений, задаваемых фазовым экраном. В плоскости наблюдения также фиксировалось число особых точек, появляющихся в волновом фронте. Варьируемыми параметрами модели являлись длина трассы, радиус Фрида и внутренний масштаб турбулентности.

Полученные результаты показали, что максимальное увеличение радиуса пучка и появление максимального числа особых точек в его волновом фронте наблюдается при наименьшем внутреннем масштабе турбулентности, тогда как минимальное значение критерия фокусировки и наибольшее смещение энергетического центра регистрируется при наименьшем значении радиуса Фрида.

## **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАСШТАБА ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ИЗОПЛАНАТИЗМ ПО НАКЛОНАМ ВОЛНОВОГО ФРОНТА**

**А.В. Немцева<sup>1,2</sup>, В.А. Богачев<sup>1</sup>, Ф.А. Стариков<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>*РФЯЦ-ВНИИЭФ, ИЛФИ, г. Саров, Россия*

<sup>2</sup>*Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Саров, Россия*

<sup>3</sup>*Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, Россия*

*avecen.ann@mail.ru*

В работе проводится расчетное исследование влияния внешнего масштаба турбулентности на изопланатизм по наклонам волнового фронта излучения от двух звезд, угловое расстояние между которыми существенно превышает угол изопланатизма по всем оптическим аберрациям [1–3]. В рамках работы проводится верификация квазиоптической расчетной модели распространения излучения по протяженной турбулентной трассе с учетом крупномасштабных неоднородностей атмосферы и большого внешнего масштаба турбулентности [4, 5]. В результате достигнуто хорошее соответствие между структурными функциями фазы излучения, полученными численно и аналитически, что подтверждает надежность расчетной модели. В расчетах анализируются статистические характеристики приходящего на приемную апертуру телескопа излучения звезд в зависимости от внешнего масштаба турбулентности. Изучен и сравнен с приближенными аналитическими моделями уровень корреляции как индивидуальных, так и разностных наклонов волнового фронта излучения двух звезд.

Исследование выполнено в рамках научной программы НЦФМ «Физика высоких плотностей энергии. Этап 2023-2025».

1. *Sasiella R.J. Electromagnetic Wave Propagation in Turbulence. Evaluation and Application of Mellin Transforms. Springer-Verlag, 1994.*
2. *Лукин В.П. // Успехи физ. наук. 2021. Т. 191, № 3. С. 292–317.*
3. *Большасова Л.А., Лукин В.И. // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 12. С. 1070–1075.*
4. *Chesnokov S.S., Kandidov V.P., Shlenov S.A., Tamarov M.P. // Proc. SPIE. 1998. 3432. P. 14–25.*
5. *Johanson E.M., Gavel D.T. // Proc. SPIE. 1994. 2200. P. 372–383.*

## **АДАПТИВНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОРРЕКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ БОЛЬШОГО СОЛНЕЧНОГО ВАКУУМНОГО ТЕЛЕСКОПА БСВТ ИЗСФ СО РАН**

**А.Г. Борзилов, П.А. Коняев, В.П. Лукин**

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

В докладе представлен анализ результатов обработки экспериментальных данных, полученных в экспедиции ЛКАО ИОА СО РАН в августе 2023 г. на БСВТ Байкальской астрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН. Были проведены испытания двухконтурной системы адаптивной коррекции искажений изображения солнечных пятен в условиях умеренной и сильной атмосферной турбулентности. Для устранения дрожаний, вызванных колебаниями сидеростата телескопа и влиянием атмосферы, в качестве первого контура использовался корректор наклонов волнового фронта, разработанный ранее в ЛКАО ИОА. Спектральный анализ измерений показал, что при большой скорости ветра основное влияние на отклонение пучка света оказывает вибрация сидеростата с частотой  $\sim 8$  Гц и амплитудой до  $5''$ . В безветренную погоду смещения координат имеют характерную для атмосферы степенную зависимость от частоты. При включении корректора дрожание изображения подавляется, его амплитуда снижается на порядок и более (наилучший результат – в 30 раз). В контуре устранения размытия изображения использовалось специально созданное программное обеспечение для постдетекторной обработки цифровых кадров (АКИ-3) с возможностью работы в реальном времени наблюдения.

## ОБЩИЙ АСТИГМАТИЗМ СТРУКТУРИРОВАННЫХ LG ПУЧКОВ: ЭВОЛЮЦИЯ И ТРАНСФОРМАЦИЯ СУПЕРВСПЛЕСКОВ ОУМ

М.В. Брецько, Я.Е. Акимова, С.И. Халилов, А.В. Воляр

*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия  
mihailbretcko4@gmail.com*

В работе теоретически и экспериментально рассмотрено действие наклона цилиндрической линзы на структурированный пучок Лагерра-Гаусса (сЛГ). Несмотря на то, что исходный сЛГ пучок состоит из суперпозиции осесимметричных мод, согласованных между собой по фазам и амплитудам, их суперпозиция уже теряет исходную осевую симметрию, но приобретает новые свойства такие как быстрые осцилляции орбитального углового момента (ОУМ), при этом ОУМ пучка не может превышать азимутальное число  $\ell$  исходной ЛГ моды. Потеря осевой симметрии возникает за счет внесения фазовых и амплитудных возмущений каждой моды сЛГ пучка, которые разрушают кольцевые дислокации. Поскольку вырожденные кольцевые дислокации образованы оптическими вихрями с противоположными топологическими зарядами, но равными весами, то их разрушение сопровождается появлением пар оптических вихрей в виде топологических диполей (их количество равно радиальному числу  $n$ ). В результате расширяется спектр мод сЛГ пучка, до величины  $2n + \ell$ .

Цилиндрическая линза нарушает равенство весов в диполях, что приводит к резкому возрастанию ОУМ всего сЛГ пучка. Причем, величиной ОУМ можно управлять, меняя наклон осей цилиндрической линзы и управляющие параметры сЛГ пучка. В результате мы показали, что при определенной ориентации осей цилиндрической линзы ОУМ пучка может превышать суммы орбитального и азимутального числа (ОУМ  $> n + \ell$ ). Кроме того, мы обнаружили, что картина интенсивности астигматического сЛГ пучка может следовать за поворотом осей астигматического элемента (при определенных соотношениях между управляющими параметрами сЛГ пучка и астигматического элемента).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА ШЭКА-ГАРТМАНА КАК ИЗМЕРИТЕЛЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ АТМОСФЕРЫ

Л.А. Больбасова<sup>1</sup>, Д.Ю. Колобов<sup>2</sup>, В.П. Лукин<sup>1</sup>, Е.Л. Соин<sup>1</sup>, Д.В. Казаков<sup>1</sup>, А.В. Киселев<sup>2</sup>,  
И.В. Русских<sup>2</sup>, В.Е. Томин<sup>2</sup>, А.Ю. Шиховцев<sup>2</sup>, М.Б. Дрига<sup>2</sup>

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

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

Известно, что при создании системы адаптивной оптики (АО) для современной оптико-электронной системы предварительно для изучения состояния турбулентности на трассе распространения оптического излучения на нее устанавливают датчик волнового фронта (ДВФ). В наших исследованиях были использованы несколько ДВФ. Как правило, это или классический, или корреляционный датчик Шэка-Гартмана. Его установка на атмосферной трассе позволяет получать данные, которые далее могут использоваться для проектирования системы АО.

В докладе приведены данные работы ДВФ, в котором использована камера МАКО на горизонтальной трассе. В ДВФ использован растр переменной размерности, что позволяло работать в условиях меняющихся условий по уровню турбулентности. Приведены результаты одновременного применения двух ДВФ. Целью эксперимента был анализ влияния амплитудных флуктуаций в оптической волне, которые могут приводить к замиранию оптического сигнала. В используемом ДВФ измерение параметра Фрида выполняется по данным величины дисперсии одной из модовых составляющих разложения фазовых флуктуаций.

Работы с ДВФ также проводились на Большом солнечном вакуумном телескопе (БСВТ). На стенде системы адаптивной оптики установлен датчик волнового фронта Шэка-Гартмана. Датчик работает по изображению Солнца в узком спектральном диапазоне. Для реконструкции волнового фронта используется геометрия Саусвелла, а также разложение по модам Цернике. Выполнены измерения искажений волнового фронта в схеме с тип-тилт корректором, оценен параметр Фрида.

Работы частично финансировались РНФ (проект № 23-42-00023).

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОГЕРЕНТНОГО ВИХРЕВОГО СВЕТОВОГО ПУЧКА В УСЛОВИЯХ ТУРБУЛЕНТНОСТИ**

**В.А. Сенников, П.А. Коняев, В.П. Лукин**

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

Методом численного моделирования исследуется распространение когерентного вихревого пучка в случайно-неоднородной среде атмосферного типа. Сам вихревой пучок моделируется как суперпозиция двух гауссовых пучков в противофазе и с малыми взаимными наклонами и взаимными смещениями с оси распространения. Используется метод расщепления для решения скалярного волнового уравнения распространения и динамический алгоритм симуляции изменяющейся во времени случайной среды, основанный на модели авторегрессии со скользящим средним.

# КРУГЛЫЙ СТОЛ «ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ, ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВЕТРОВЫХ ПОЛЕЙ В АТМОСФЕРЕ»

## СПЕКТРЫ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА (0,63 мкм) В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ВЫПАДЕНИИ ХЛОПЬЕВ СНЕГА

Н.А. Вострецов

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

Приведены результаты исследования спектров флуктуаций интенсивности рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка (0,63 мкм) в приземной атмосфере в снегопадах при выпадении хлопьев (крупнодисперсных снегопадах). В экспериментах использовался одномодовый гелио-неоновый лазер ЛГН-215, длина волны 0,63 мкм, диаметр пучка 16 см на выходе в атмосферу. Пучок фокусировался в конце трассы длиной 130 м, диаметр пучка в фокусе не более 3–4 мм. Фотоприемник с диафрагмой 0,1 мм (поле зрения  $2,7 \cdot 10^{-2}$  рад) устанавливался в фокальной плоскости пучка на расстоянии 10 мм в сторону от оптической оси пучка, в области рассеянного излучения. Сигнал с фотоприемника (ФЭУ-38) подавался на частотный анализатор спектра FSP-80. Спектр флуктуаций интенсивности излучения  $U(f)$  рассчитывался по данным полученным на анализаторе спектра FSP-80, который имел 38 фильтров в диапазоне частот от 2 Гц до 20 кГц.

Установлено, что спектры флуктуаций интенсивности рассеянного излучения в снегопадах при выпадении хлопьев имеет один снеговой максимум.

Величины низкочастотных наклонов спектров  $g_{1н}$  и  $g_{2н}$  до снегового максимума не зависят от скорости ветра ( $V$ ) и ее перпендикулярной составляющей к трассе ( $V_{пер}$ ). Величина основных высокочастотных ( $g_{2в}$ ) наклонов спектров после снегового максимума линейно увеличивается с ростом  $V$  и по экспоненте с увеличением ( $V_{пер}$ ). Наклон вблизи снегового максимума ( $g_{1в}$ ) слабо зависит от  $V$  и не зависит от  $V_{пер}$ .

Величины низкочастотных  $g_{1н}$  и  $g_{2н}$  и основных высокочастотных ( $g_{2в}$ ) наклонов спектров не зависят от коэффициента рассеяния  $\alpha_p$ . В случае высоко частотных наклонов вблизи максимума ( $g_{1в}$ ) увеличивается по экспоненте с ростом  $\alpha_p$ .

Частота снегового максимума  $f_{макс}$  линейно увеличивается с ростом  $V$  и увеличивается по экспоненте с ростом  $V_{пер}$ .

Небольшая часть спектров после снегового максимума спадает по экспоненте.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДЛЯ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ

А.П. Ростов

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

Разработана и изготовлена система для дистанционного управления бортовым самолетным турбулентным лидаром.

Управление мобильными устройствами (Mobile Device Management, MDM) – набор сервисов и технологий, обеспечивающих контроль и защиту мобильных устройств, используемых организацией и ее сотрудниками. Существует множество вариантов дистанционного управления мобильными устройствами [1, 2].

Была сделана попытка разработать и изготовить MDM систему для управления турбулентным лидаром самолетного базирования [3]. При разработке уделялось внимание надежности и простоте управления прибором, а также минимальной стоимости оборудования и эксплуатационных расходов.

Система реализована на двух микрокомпьютерах, работающих под управлением операционной системы Linux. В качестве среды распространения команд и данных используется Интернет.

1. *Johnson M.* Mobile Device Management: What You Need to Know for It Operations Management // Emereo Pty Limited. 2011. 476 p. ISBN 9781743042151.
2. *Самочадин А.В., Носницын С.М., Рогов П.А., Хмельков И.А.* // Реализация мобильных сервисов, основанных на местоположении пользователя, с помощью MDM системы. 2013. № 6. С. 17–26. ISSN 2687-0517.
3. *Разенков И.А.* Турбулентный лидар. I. Конструкция // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 1. С. 41–48. DOI: 10.15372/AOO20180107.

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ КОЛМОГОРОВСКОЙ СТЕПЕННОЙ МОДЕЛИ В СПЕКТРАХ ФЛУКТУАЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В СВЕРХЗВУКОВОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ НА ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

**Д.А. Маракасов, А.А. Сухарев**

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

Представлены результаты численного исследования влияния отклонений от модели Колмогорова–Обухова в спектрах флуктуаций показателя преломления в сверхзвуковом воздушном потоке на оптическое излучение. Показано, что учет отличий спектра флуктуаций показателя преломления от колмогоровской модели может повлиять на оценки характеристик оптической волны, распространяющейся через высокоскоростное турбулентное течение.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## **КОРРЕЛЯЦИЯ БЕССЕЛЕВЫХ МОД В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ**

**И.П. Лукин**

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

Изучение распространения структурированных и фазово-модулированных оптических пучков в настоящее время остается актуальной проблемой. Бесселевы пучки высших порядков являются одним из перспективных типов вихревых пучков. Подобно неограниченной плоской волне, такие пучки не дифрагируют при распространении в свободном пространстве, но, в отличие от нее, они имеют распределение интенсивности с характерными максимумами и минимумами в плоскости, нормальной к направлению распространения излучения. В центре бесселева пучка нулевого порядка находится яркий максимум, а в центре вихревых бесселевых пучков – темное пятно, которое переносится в свободном пространстве без искажений из-за дифракции. Вихревые бесселевы пучки могут быть сформированы из гауссовых пучков после прохождения через аксикон и фазовый винт. Фазовый винт необходим в этом случае для обеспечения выделения только одного порядка бесселева пучка. Наличие турбулентной атмосферы приводит к нарушению условий выделения только одного порядка бесселева пучка, что, в свою очередь, приводит к искажениям структуры обходящегося вихревого бесселева пучка. Описание этого процесса рассматривалось в паракиральном приближении с использованием расширенного принципа Гюйгенса–Френеля. Анализировались средние интенсивности пучков и взаимные корреляции полей пучков разного порядка. Было показано, что расстояние, на которое можно транспортировать центральное темное пятно в турбулентной атмосфере, ограничено тем больше, чем меньше порядок бесселева пучка. Таким образом, работоспособность систем передачи информации на основе кодирования по топологическому заряду пучка фактически ограничена.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## ЗАВИСИМОСТЬ ЛОКАЛЬНЫХ УГЛОВ НАКЛОНА ВОЛНОВОГО ФРОНТА ВИХРЕВОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА ОТ ТУРБУЛЕНТНОГО ПАРАМЕТРА

Д.С. Рычков

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

Представлены результаты исследования зависимости локальных углов наклона волнового фронта (ВФ) вихревого лазерного пучка, распространяющегося в турбулентной атмосфере, от параметров трассы – дистанции до плоскости приема, значения структурной характеристики флуктуаций показателя преломления среды. Наличие оптического вихря в поле лазерного пучка приводит к разделению поперечной компоненты вектора Пойнтинга на дивергентную и соленоидальную составляющие. При распространении пучка в среде среднее отношение этих составляющих изменяется, что оказывает влияние на локальные углы наклона ВФ в точке приема, – увеличение дистанции и значения структурной характеристики ведет к уменьшению вклада соленоидальной составляющей в локальный угол наклона ВФ, что снижает вероятность измерения топологического заряда. В качестве примера измерительной системы взяты параметры датчика Шэка–Гартмана THORLABS WFS20.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ИНДУЦИРОВАННОЙ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПРИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРАХ

А.В. Луценко, Е.Л. Лобода, М.В. Агафонцев, Д.П. Касымов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
lu.anastasik@gmail.com, loboda@mail.tsu.ru, kim75mva@gmail.com, denkasymov@gmail.com*

Массовые природные пожары оказывают влияние и на глобальные климатические процессы. При природных пожарах выделяется значительное количество тепловой энергии, а интенсивные турбулентные процессы в пламени природного пожара формируют турбулентность в конвективной колонке над очагом горения [1]. Это оказывает влияние на метеорологические параметры: скорость ветра, температуру и влажность воздуха, индуцированную атмосферную турбулентность. Турбулентные процессы в атмосфере характеризуются внутренним и внешним масштабами, соответствующие размерам крупных вихрей и мелких вихревых структур соответственно.

В данной работе представлен анализ и обобщение результатов исследований турбулентности в пламени и в окрестности очага горения при модельных степных и верховых пожарах, проведенных в период с 2019 по 2022 г. на Базовом экспериментальном комплексе Института оптики атмосферы СО РАН. Представлены результаты систематизации и анализа полунатурных экспериментальных исследований возникновения степного и верхового лесного пожаров и их влияния на формирование индуцированной атмосферной турбулентности в окрестности очага горения. Полученные экспериментальные результаты расширяют фундаментальные знания о влиянии природных пожаров на формирование индуцированной атмосферной турбулентности и атмосферные процессы переноса в целом.

В результате анализа проведенных с 2019 по 2022 г. полунатурных экспериментов по распространению модельных верховых и степных пожаров можно сделать следующие выводы:

- получены спектры изменения температуры воздуха и масштабы индуцированной атмосферной турбулентности в окрестности фронта модельного пожара;
- установлены диапазоны частот пульсации температуры воздуха, соответствующие инерционному и диссипативному участкам энергетического спектра для степного пожара;
- показано, что для степного пожара диссипативные процессы начинают формироваться на высоте 10 м при значении  $\lg k > 1,58$  и соответствующей частоты пульсаций  $f > 3$  Гц;
- на высоте 3 м диссипативные процессы при модельном степном пожаре не наблюдаются;
- показано, что при модельном верховом пожаре на высоте 10 м турбулентные процессы в атмосфере соответствуют инерционному участку энергетического спектра, а диссипативные процессы практически не проявляются.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Loboda E., Kasymov D., Agafontsev M., Reyno V., Gordeev Y., Tarakanova V., Martynov P., Loboda Y., Orlov K., Savin K. et al. Effect of small-scale wildfires on the air parameters near the burning centers // Atmosphere. 2021. V. 12, N 1. P. 75-1–15. DOI: 10.3390/atmos12010075.

## ОБНАРУЖЕНИЕ НЕБОЛЬШИХ ОБЛАСТЕЙ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ АЭРОЗОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ДВУХИМПУЛЬСНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО ЛИДАРА – ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.М. Шерстобитов

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

Авторами [1] было показано, что использование двух зондирующих импульсов и последующей корреляционной обработки позволяет повысить пространственное разрешение при поиске напряженного участка оптоволокна по рассеянию Бриллюэна. Далее подобный подход был использован [2] применительно к ветровому лидару.

В данной работе в численном эксперименте исследуется способность двухимпульсного корреляционного лидара [2] к обнаружению в атмосфере небольших областей (несколько метров) с высокой концентрацией аэрозоля. В ходе эксперимента сравнивались профили отношений сигнального пика к шумовой подставке для лидара классической конструкции и двухимпульсного корреляционного лидара [2]. Моделирование лидарных сигналов основывалось на формулах (2.6.18) и (2.6.19) из [3]. Формулы были немного видоизменены для учета пространственной неоднородности отношения сигнал-шум и особенностей спектральной обработки [2].

1. Horiguchi T., Masui Y., Zan M.S.D. Analysis of phase-shift pulse brillouin optical time-domain reflectometry // Sensors. 2019. V. 19, N 7. P. 1497. DOI: 10.3390/s19071497.
2. Yunpeng Zhang, Yunbin Wu, Haiyun Xia. Spatial resolution enhancement of coherent Doppler wind lidar using differential correlation pair technique // Opt. Lett. 2021. V. 46, N 22. P. 5550–5553. DOI: 10.1364/OL.442121.
3. Банах В.А. Смалыхо И.Н. Когерентные доплеровские ветровые лидары в турбулентной атмосфере. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2013. 304 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ МОДЕЛЬНОГО ОГНЕННОГО СМЕРЧА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

Д.А. Маракасов, А.А. Сухарев, А.Н. Шестернин, М.В. Шерстобитов, Р.Ш. Цвык, Л.О. Герасимова

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

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований поля средней плотности воздуха в пламени модельного огненного смерча на основе анализа отклонений направления распространения просвечивающего лазерного излучения. В экспериментах двумя способами регистрировались смещения пучков, прошедших через область горения, а именно, с помощью линейки позиционно-чувствительных фотодетекторов и видеосъемки изображений пучков на рассеивающем экране. Сопоставляются результаты восстановления средней плотности воздуха в пламени и за его пределами. Проводится сравнение полученных оценок поля средней температуры с известными из литературы результатами.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 23-29-00483, <https://rscf.ru/project/23-29-00483>).

## АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА И ФОРМЫ КОЛЕБАНИЙ НА ЧАСТОТЕ ДИСКРЕТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ТОНОВ В НЕДОРАСШИРЕННОЙ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕ

Д.А. Маракасов

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

Истечение неизобарических сверхзвуковых струй сопровождается излучением мощных акустических волн со спектром, занимающим узкие полосы шириной в несколько десятков герц в окрестности основной частоты и ближайших гармоник. Как показали эксперименты по лазерному просвечиванию струй, внутри полос спектры представляют собой совокупность резко выраженных пиков, отстоящих один от другого на несколько герц. В докладе на основе результатов экспериментов по регистрации акустического поля струи и флуктуаций направления просвечивающего лазерного излучения проводится анализ формы единичного колебания и ее вариаций на интервале регистрации. Исследуется предположение о формировании дискретных тонов как совокупности близко расположенных конкурирующих мод.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## ОЦЕНКА ПОПЕРЕЧНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА ИЗ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В РАСФОКУСИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НЕКОГЕРЕНТНОГО ИСТОЧНИКА

Д.А. Маракасов, А.Л. Афанасьев

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

Предложен метод оценки поперечной к оптической трассе компоненты скорости ветра из флуктуаций интенсивности в изображении удаленного некогерентного источника. Особенностью метода является использование последовательности расфокусированных изображений, что, при достаточной ширине функции размытия, позволяет отслеживать перенос неоднородностей плотности воздуха как смещение неоднородностей интенсивности засветки в изображении. Проводится сопоставление оценок скорости смещения и результатов измерения поперечного ветра на атмосферных трассах различной протяженности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ОЧАГЕ ГОРЕНИЯ МОДЕЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПОЖАРА МЕТОДОМ ТЕРМОГРАФИИ

В.В. Рейно, Л.О. Герасимова, М.В. Агафонцев

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

*reyno@iao.ru, lilyan@iao.ru, amv@mail.tsu.ru*

Проведение исследований связано с изучением процессов конвективной турбулентности [1] в высокотемпературных средах, таких как природные очаги горения. Регистрация и анализ изменения температуры поверхности контрольных образцов производился дистанционно, с использованием метода скоростной ИК-термографии. В качестве горючего растительного материала для моделирования очага горения использовался опад хвои сосны и кедра с различной массой насыпки, позволяющей создать приемлемое время съемки процесса горения для получения характеристик конвективной турбулентности в очагах горения. Регистрация и обработка видеоинформации проводилась в видимом и инфракрасном диапазоне.

В процессе экспериментов получены временные характеристики конвективной турбулентности: энергетические спектры флуктуаций температуры, их наклоны, характеризующие скорость убывания в инерционном интервале. Показано время зарождения и жизни конвективных вихрей для разного запаса горючих материалов и их влагосодержания и эволюция этих параметров с высотой пламени и ростом конвективной колонки. Установлена степень влияния высокотемпературной среды (пламя, дым, смола и газообразные продукты горения) на теплофизические характеристики мишеней и излучательную способность их поверхности в рабочем диапазоне длин волн инфракрасной камеры 2–5 мкм. Проведен выбор материала для мишеней с пригодными для изучения процессов горения теплофизическими характеристиками, устойчивых к разрушению при воздействии высоких температур.

Работа выполнена из бюджетных средств в рамках государственного задания ИОА СО РАН с использованием оборудования ЦКП «Атмосфера».

1. Агафонцев М.В., Герасимова Л.О., Рейно В.В., Шестернин А.Н. Исследование конвективной турбулентности над нагретой поверхностью методом скоростной термографии // Оптика атмосф. и океана. 2023. Т. 36, № 7. С. 584–590. DOI: 10.15372/AOO20230707.

## О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОГЕРЕНТНЫМ ДОПЛЕРОВСКИМ ЛИДАРОМ ЛРВ

И.Н. Смалихо, В.А. Банах

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

*smalikh@iao.ru*

Созданный в Лаборатории распространения волн ИОА СО РАН импульсный когерентный доплеровский лидар (ИКДЛ), именуемый нами как «лидар ЛРВ», характеризуется нестационарностью шумовой составляющей лидарного сигнала [1]. Несмотря на тестирование лидара ЛРВ в совместном с ИКДЛ Stream Line эксперименте в 2021 г. [1] вопрос о точности оценок отношения сигнал-шум (SNR) и радиальной скорости ветра ( $V_r$ ) из измерений лидаром ЛРВ оставался открытым. В настоящей работе исследуется влияние нестационарности шума в измерениях лидаром ЛРВ на точность определения SNR и  $V_r$  с использованием численного моделирования и путем сопоставления с соответствующими оценками, получаемыми в совместных экспериментах лидаров ЛРВ и Stream Line (проблемы нестационарности шума для последнего нет).

Нами разработан алгоритм численного моделирования сигналов ИКДЛ с учетом нестационарного шума, имитирующий работу лидара ЛРВ. По результатам численных экспериментов определены погрешности оценивания SNR и  $V_r$  в зависимости от отношения сигнал-шум. Проведено сравнение погрешностей измерения этих параметров в совместных экспериментах с лидарами ЛРВ и Stream Line, выполненных на территории Базового экспериментального комплекса ИОА СО РАН и в томском Академгородке в 2022 г. Установлено, что точности измерения лидарами сопоставимы, если отношение сигнал-шум не ниже  $-18$  дБ.

1. Смалыхо И.Н., Банах В.А., Разенков И.А., Сухарев А.А., Фалиц А.В., Шерстобитов А.М. Сравнение результатов совместных измерений скорости ветра когерентными доплеровскими лидарами Stream Line и ЛРВ // Оптика атмосф. и океана. 2022. Т. 35, № 10. С. 826–835.

## **ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДА ВИДЕОЦИФРОВОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЕТРА И ТУРБУЛЕНТНОСТИ**

**А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, Д.А. Маракасов, А.П. Ростов**

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
afanasiev@iao.ru, banakh@iao.ru, mda@iao.ru, rostov@iao.ru*

Представлены результаты измерений турбулентных характеристик приземного слоя атмосферы выполненных одновременно видеоцифровым методом по искажениям изображения естественно освещенных объектов и методом просвечивания по флуктуациям лазерного излучения. Получены данные о динамике изменения ветровых и турбулентных параметров пространственно осредненных по трассе. Проведено сравнение с локальными данными акустических метеостанций.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## **РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИХРЕВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ НА АТМОСФЕРНОЙ ТРАССЕ**

**Л.О. Герасимова, А.В. Фалиц, В.В. Кусков, Р.М. Махманазаров**

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия  
lilyan@iao.ru, falits@iao.ru, vvk@iao.ru, efemberg11@mail.ru*

Интерес к исследованию особенностей распространения вихревых лазерных пучков, содержащих фазовую сингулярность, в различных средах обусловлен перспективой повышения емкости данных и спектральной эффективности при передачи информации в оптических линиях связи. Подобно гауссовым пучкам, чувствительность вихревых пучков к случайным флуктуациям показателя преломления на трассе распространения накладывает ограничение на использование таких пучков в системах оптической связи.

В данном докладе представлены результаты экспериментов по распространению вихревых лазерных пучков с различными величинами топологического заряда на атмосферной трассе. Проведен анализ влияния наличия орбитального углового момента на характеристики распространяющегося лазерного пучка в условиях турбулентности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

## **УЧЕТ СМЕЩЕНИЙ ПЛАМЕНИ МОДЕЛИ ОГНЕННОГО СМЕРЧА В СЕРИИ ТЕРМОГРАММ ПРИ РАСЧЕТЕ ЧАСТОТНЫХ СПЕКТРОВ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В УЗЛАХ 2D-СЕТКИ**

**М.В. Шерстобитов, Д.А. Маракасов, Р.Ш. Цвык**

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

В этой работе мы провели расчеты, аналогичные расчетам, представленным в нашей предыдущей работе [1]. Существенным усовершенствованием программы явилось следующее: для получения среднего по серии из  $\sim 7000$  термограмм изображения модели огненного смерча (МОС) все термограммы «центрировались». Изображение пламени в каждой термограмме: 1 – задавался уровень «фона»; 2 – выравнивалось относительно вертикальной оси; 3 – с использованием интерполяции выравнивалось по ширине. Далее происходило суммирование таких изображений и наложение 2D-сетки (до 10 по высоте  $\times$  5 по ширине).

В каждом узле сетки проводился расчет частотного спектра флуктуаций интенсивности. Проведен расчет для нескольких серий термограмм, полученных при разных частотах закрутки МОС. Установлены отличия от расчета, проведенного в [1].

1. *Sherstobitov M.V., Sazanovich V.M., Tsvyk R.S., Marakasov D.A.* Analysis of 2D distribution of the frequency spectra of the flame model fire whirl // Proc. SPIE. The International Society for Optical Engineering. 2017. С. 1046641.

## КОНСТРУКЦИЯ САМОЛЕТНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ЛИДАРА УОР-6

**И.А. Разенков, К.А. Рынков**

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

Опираясь на приобретенный опыт работы с турбулентными лидарами УОР-4 и УОР-5 [1] был сконструирован и изготовлен самолетный микроимпульсный УФ-лидар УОР-6. Для облегчения конструкции и уменьшения габаритных размеров мы отказались от термоэлектрического преобразователя (холодильник Пельтье) и использовали простой защитный кожух из алюминиевого листа. Оптическая скамья изготовлена из пары алюминиевых пластин, соединенных между собой большим количеством втулок для увеличения жесткости. Для уменьшения градиента температуры между сторонами скамьи и, соответственно, уменьшения ее деформации через середину скамьи осуществляется постоянная прокачка наружного воздуха. Причем, верх и низ скамьи изолированы от середины скамьи для предотвращения попадания пыли на оптические элементы. На верхней стороне скамьи располагается передатчик лидара, на нижней – приемный блок. Лазер и блоки питания, т.е. тепловыделяющие элементы, располагаются на краю оптической скамьи в изолированных секциях с интенсивной прокачкой наружного воздуха.

В лидаре длина волны излучения составляет 355 нм. Выбор длины волны обусловлен рядом причин. Во-первых, безопасностью для глаз. И поскольку лазерное излучение для глаз невидимое, поэтому работа лидара не будет привлекать внимания и мешать работе аэродромных служб. Во-вторых, благодаря рассеянию Рэлея коэффициент молекулярного рассеяния для ультрафиолетового излучения существенно больше по сравнению с рассеянием видимого излучения. Данное обстоятельство особенно важно для обнаружения лидаром турбулентности в ясном небе (ТЯН), когда аэрозольное рассеяние мало.

Лидар УОР-6 будет установлен на самолет Ту-134 «Оптик» и планируется его использование в рутинном режиме. Включение лидара будет производиться на земле перед полетом; выключение – после приземления. Предполагается автономная работа лидара на борту самолета в автоматическом режиме. Основная цель работы лидара – отработка методики дистанционного обнаружения ТЯН [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке госзадания ИОА СО РАН.

1. *Разенков И.А.* Анализ технических решений при проектировании турбулентного лидара // Оптика атмосф. и океана. 2022. Т. 35. № 9. С. 766-776.
2. *Способ и лидарная система для оперативного обнаружения турбулентности в ясном небе с борта воздушного судна:* Пат. 2798694. Россия, МКП, G01S 17/95. Разенков И.А., Белан Б.Д., Рынков К.А., Ивлев Г.А.; Федер. гос. бюд. учр. науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. № 2023106962; Заявл. 23.03.2023; Опубл. 23.06.2023. Бюл. № 18.

## Авторский указатель

<b>А</b>		Васильева Д.Е.	57	Дульцева Г.Г.	17
Агафонцев М.В.	84, 86	Васильева М.С.	39	Дюкарев Е.А.	13
Агеев Б.Г.	13, 24	Васянович М.Е.	48	<b>Е</b>	
Адильбаева Т.Е.	47	Веретенников В.В.	5, 9	Евсеев Н.С.	58
Акентьева М.С.	33	Веретехин И.Д.	71, 78	Емельянов М.К.	35
Акимова Я.Е.	80	Верхошнцева С.Л.	22	<b>Ж</b>	
Алексеев А.А.	26	Виноградова А.А.	4, 8	Жамсуева Г.С.	47
Алексеева М.Н.	16	Возмищев И.Ю.	75	Журавлева Т.Б.	42
Амикишиева Р.А.	46	Воляр А.В.	80	<b>З</b>	
Андреева И.С.	18, 24, 40, 49	Воробьев С.Н.	23	Завгородняя Ю.А.	18
Антонов А.В.	6, 57	Вострецов Н.А.	82	Заворуев В.В.	53, 63
Антонова В.М.	8	Вяткина В.А.	28	Задворных И.В.	17, 34
Антонович В.В.	12	<b>Г</b>		Зайцев А.Р.	12, 19
Архипов В.А.	26, 27, 58	Габышев Д.Н.	3	Зайцев Н.Г.	67
Аршинов М.Ю.	10, 12	Гадельшин В.М.	48, 57, 60	Заров Е.А.	13
Аршинова В.Г.	10	Ганиева Э.Д.	39	Захаров В.И.	17, 34
Асламов И.А.	52	Гвоздева А.В.	41, 59	Зенкова П.Н.	9
Астафуров В.Г.	33	Генералов В.М.	58	Зуева Г.А.	14
Астахова Е.М.	20, 21	Герасимова Л.О.	85, 86, 87	<b>И</b>	
Афанасьев А.Л.	86, 87	Герасимова М.П.	13	Иванова Ю.А.	4
<b>Б</b>		Гибадуллин Р.Р.	59	Ивлев Г.А.	10, 38
Бабинович А.Е.	7	Гладких В.А.	31	<b>К</b>	
Баженов О.Е.	16	Глебов А.Ю.	59	Кабанов Д.М.	62, 63, 65
Бакланов А.М.	26, 54	Глухов А.В.	58	Кабилов М.Р.	18, 40
Балин Ю.С.	67, 68	Глухов М.А.	75	Каблукова Е.Г.	55
Банах В.А.	86, 87	Голобокова Л.П.	10, 51, 53, 66	Кадочников А.А.	61
Барановский Н.В.	28	Головко В.В.	14, 16	Казаков Д.В.	80
Барт А.А.	32	Головушкин Н.А.	22, 42	Калачев А.В.	59
Басалаев С.А.	26	Голубева Е.Н.	38	Калашникова Д.А.	62
Безденежных В.А.	51	Голубятников Г.Ю.	56	Камардин А.П.	31
Белан Б.Д.	10, 19, 24, 38, 45, 49	Горчаков Г.И.	5, 27, 28	Кан Н.В.	7
Белан С.Б.	10	Горячев Б.В.	43, 52	Канев Ф.Ю.	71, 78
Бердашкинова О.И.	10, 51	Грабежова В.К.	58	Каргаполова Н.А.	33
Береснев С.А.	39	Градов В.С.	36, 38	Карпов А.В.	5, 27, 28
Битюкова В.Р.	48	Грибанов К.Г.	17, 34	Касимов Н.С.	18, 48, 49
Богачев В.А.	79	Григорьев М.Р.	25	Касымов Д.П.	84
Большасова Л.А.	77, 80	Губанова Д.П.	3, 4, 8	Кирсанов А.А.	59
Большаков А.А.	61	Гуляев Е.А.	48, 57, 60	Киселев А.В.	73, 80
Борзилов А.Г.	79	Гусев А.О.	48	Киселева Т.И.	14
Борков Ю.Г.	30	Гущин Р.А.	5, 27, 28	Клейменов В.В.	75
Боровко И.В.	36	<b>Д</b>		Клемашева М.Г.	67, 68
Боровой А.Г.	6	Давыдов Д.К.	10, 12	Кобзева Т.В.	17
Брецько М.В.	80	Дарьин Ф.А.	63, 64	Ковадло П.Г.	36, 73, 74
Бунтов Д.В.	27	Даценко О.И.	5, 27, 28	Ковалев А.А.	73
Буримов Н.И.	76	Дергунов А.В.	53	Коваленко М.А.	60
Буряк Г.А.	18, 19, 49, 58	Дмитриченко А.А.	13	Ковач Р.Г.	18, 48, 49
Бучельников В.С.	10	Долгий С.И.	57	Козлов А.В.	10, 12
<b>В</b>		Дрига М.Б.	36, 73, 80		
Валиулин С.В.	26, 54	Дубцов С.Н.	17, 54		
		Дудорова Н.В.	45		

Козлов А.С.	10, 20	Малимонов М.И.	61	Печкин А.С.	59
Козлов В.С.	9	Мальшев Б.С.	24	Пискунова Д.А.	41
Коковкин В.В.	46	Маракасов Д.А.	83, 85,	Плотников А.А.	12
Колобов Д.Ю.	80		86, 87	Плохотниченко М.Е.	17
Колотков Г.А.	25, 47	Мареев Е.А.	22	Поддубный В.А.	48
Колтовской И.И.	40	Маринайте И.И.	53, 66	Позднякова Е.А.	51
Колтыгин М.О.	75	Маслов А.А.	24	Покровский О.С.	23
Коновалов И.Б.	9, 22, 42	Маслова М.В.	30	Поленчук С.Н.	26
Коношонкин А.В.	6, 7	Масловский А.С.	65	Полькин В.В.	6
Коняев П.А.	79, 81	Масляшова А.О.	59	Полькин Вас.В.	6, 9, 56, 65
Копылов Е.А.	77	Матвиенко О.В.	27	Полюхов А.А.	41, 59
Костюшин К.В.	27	Матющенко Ю.Я.	59	Пономарев Ю.Н.	13
Котляр В.В.	73	Махманазаров Р.М.	87	Попова С.А.	63, 64
Коханенко Г.П.	67, 68	Меньщикова С.С.	5	Поповичева О.Б.	18, 20, 48, 49
Кошелева Н.Е.	48	Миронова Д.Э.	55	Почуфаров А.О.	62, 63, 64, 66
Кравцова Н.С.	11, 23	Моложникова Е.В.	21, 50,	Пригарин С.М.	55
Кравчишина М.Д.	62		51, 52	Протасов А.А.	26
Крайнева М.В.	29	Мордовской П.Г.	25, 40	Пучкова Л.И.	49
Крицков И.В.	23	Мошкин А.Д.	24	Пьянова Э.А.	32
Круглинский И.А.	62, 63,				
	64, 66				
		<b>Н</b>		<b>Р</b>	
Крупчатников В.Н.	36	Наговицына Е.С.	57	Разенков И.А.	88
Крылова А.И.	30	Нариманидзе А.А.	59	Размоллов А.А.	39
Крючков А.В.	13	Насонов С.В.	67, 68	Рапута В.Ф.	45, 46
Кузин Р.С.	75	Насонов С.И.	68	Рассказчикова Т.М.	10
Кулагин О.В.	75	Насртдинов И.М.	42	Ребус М.Е.	40, 49
Кулик А.А.	13	Невзоров А.А.	23	Резникова И.К.	18, 19
Купряжкин А.Я.	60	Невзоров А.В.	10, 23, 57	Рейно В.В.	86
Курбацкая Л.И.	32	Невзорова И.В.	31	Ривин Г.С.	29, 54
Курьянович К.В.	33	Немцева А.В.	79	Ризе Д.Д.	62, 64, 65
Куряк А.Н.	56	Непомнящий О.В.	22	Романдин И.В.	26
Кусков В.В.	87	Неустроев А.А.	25	Романовский Я.О.	23
Кустова Н.В.	6, 7	Нецветаева О.Г.	50	Ромашенко В.А.	9
		Никифорова О.Ю.	24	Ростов А.П.	82, 87
		Новигатский А.Н.	23, 62	Русин Е.В.	35
<b>Л</b>		Новикова Е.В.	75	Русских И.В.	16, 73, 80
Лаврентьева А.И.	59	Новоселов М.М.	67, 68	Русскова Т.В.	9
Лавриненко А.В.	37	Носов В.В.	71, 72, 77	Рынков К.А.	88
Лаптева Н.А.	18, 30	Носов Е.В.	71, 72	Рычков Д.С.	84
Леженин А.А.	45, 46			Рябова С.А.	43
Леонова Д.С.	59				
Лим А.Г.	23	<b>О</b>		<b>С</b>	
Лобода Е.Л.	84	Оболкин В.А.	21, 51	Сабанин К.А.	60
Ломакина Н.Я.	37	Огородников В.А.	33	Садовников С.А.	11, 13
Лоскутова М.А.	62, 64, 65	Одинцов С.Л.	31	Сакерин С.М.	62, 63, 64
Лукин В.П.	70, 71, 72,	Олькин С.Е.	18, 19	Сальников К.С.	6
	73, 75, 77,	Онищук А.А.	54	Сальникова Н.С.	57
	79, 80, 81	Онищук Н.А.	10, 50, 63, 66	Самойлова С.В.	68
Лукин И.П.	83	Охлопкова О.В.	24, 49	Сапожникова В.А.	13
Луценко А.В.	84			Сафатов А.С.	18, 19, 20,
Луцкий Е.С.	21	<b>П</b>			21, 24, 40,
		Панченко М.В.	6, 9, 57		49, 58
<b>М</b>		Пашнев В.В.	59	Семенова А.В.	18
Макаров В.И.	64	Пененко А.В.	35	Сеник И.А.	59
Макаров М.М.	52	Пененко В.В.	31, 35	Сенников В.А.	81
Макеев А.П.	10, 57	Пеннер И.Э.	67, 68	Сердюков В.И.	30
Макенова Н.А.	71, 78	Перемитина Т.О.	14	Сидорова О.Р.	62, 64
Максименков Л.О.	3	Перепелкин В.Г.	4	Симоненков Д.В.	10, 19, 46
Максимов Т.Х.	25	Перфильева К.Г.	26, 27	Симонова Г.В.	62
Малахова В.В.	29	Петров Н.А.	59		

