

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Сибирское отделение
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева

**XXVIII
КОНФЕРЕНЦИЯ**



АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

*Тезисы
докладов*

23–26 ноября 2021 г.
г. Томск

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

XXVIII Конференция



АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

Тезисы докладов

Томск
Издательство ИОА СО РАН
2021

УДК 551.508; 551.510; 551.521
ББК 32.86
А 932

Аэрозоли Сибири. XXVIII Конференция : Тезисы докладов. – Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2021. – 88 с. – 5 МБ. – 1 CD-ROM. – Систем. требования: Intel 1,3 ГГц и выше; дисковод CD-ROM; мышь; ОС Microsoft Windows; Acrobat Reader 4.0 и выше. – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-94458-189-1.

Электронное научное издание.

Подписано к использованию 18.11.2021 г.

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

Сборник включает тезисы докладов XXVIII 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*



АО «НИИ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ»

ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОЗОЛЯ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

П.Н. Зенкова, Д.Г. Чернов, В.П. Шмаргунов, В.В. Польшкин, В.С. Козлов,
С.А. Терпугова, М.В. Панченко

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

Для каждого сезона года восстанавливаются вертикальные профили оптических характеристик аэрозоля для нижнего 5-км слоя атмосферы Западной Сибири. Входными параметрами являются данные многолетнего самолетного зондирования высотных профилей коэффициентов направленного рассеяния, дисперсного состава атмосферного аэрозоля, содержания поглощающих частиц, а также параметра конденсационной активности [1]. В модели [2] поглощающее вещество представлено в субмикронной фракции логнормальным распределением. Оптические характеристики восстанавливаются с переменными значениями комплексного показателя преломления частиц разных размеров при изменении относительной влажности воздуха на высотах до 5 км. Модельные данные сравниваются с результатами наблюдений оптических характеристик тропосферного аэрозоля Западной Сибири: аэрозольной оптической толщи в видимом диапазоне длин волн и лидарным отношением на длине волны 0,532 мкм.

Многолетние исследования выполнялись в рамках государственного задания ИОА СО РАН, а разработка модели восстановления комплекса оптических характеристик с учетом поглощающих и гигроскопических свойств аэрозоля осуществлялась в рамках задач, выполняемых при финансовой поддержке РФФИ (соглашение № 19-77-20092).

1. Панченко М.В., Козлов В.С., Польшкин В.В., Терпугова С.А., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П. Восстановление оптических характеристик тропосферного аэрозоля Западной Сибири на основе обобщенной эмпирической модели, учитывающей поглощающие и гигроскопические свойства частиц // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 1. С. 46–54.
2. Зенкова П.Н., Терпугова С.А., Польшкин В.В., Польшкин Вас.В., Ужесов В.Н., Козлов В.С., Яушева Е.П., Панченко М.В. Развитие эмпирической модели оптических характеристик аэрозоля Западной Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2021. Т. 34, № 3. С. 192–198.

СУТОЧНЫЙ ХОД ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В 2021 г.

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

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

Эксперименты с искусственным нагревом забираемых из атмосферы частиц являются одной из важных составляющих метода активной нефелометрии, развиваемого в Институте оптики атмосферы СО РАН [1]. В октябре 2020 г. введены в мониторинговый режим круглосуточные измерения зависимостей коэффициента рассеяния от температуры в диапазоне $T = 25\text{--}225\text{ }^\circ\text{C}$. В качестве основного инструмента используется интегрирующий нефелометр М903, регистрирующий коэффициент аэрозольного рассеяния на длине волны 0,55 мкм.

Анализируемыми параметрами являются параметры $F(T_1, T_2) = \frac{\sigma(T_1) - \sigma(T_2)}{\sigma(25^\circ\text{C})}$, где $\sigma(T)$ – коэффициент рассеяния

при соответствующей температуре, описывающие долю веществ, испаряющихся в диапазоне температур $T_1 - T_2$.

Дополнительно в рамках каждого сезона были выделены четыре массива, соответствующие типам аэрозольной погоды: «фон», «пригородная дымка», «городской смог» и «дымная мгла», различающимся по уровню концентраций аэрозоля и сажи.

Рассматриваются особенности суточного хода $F(T_1, T_2)$ в разные месяцы 2021 г., а также при разных типах аэрозольной погоды в каждом сезоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, Соглашение № 19-77-20092.

1. Панченко М.В., Свириденков М.А., Терпугова С.А., Козлов В.С. Активная спектрофелометрия в исследовании микрофизических характеристик субмикронного аэрозоля // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17, № 5–6. С. 428–436.

БАНК ДАННЫХ МАТРИЦ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ КРИСТАЛЛОВ ЛЬДА НЕВЫПУКЛОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ДЛИН ВОЛН 0,355; 0,532; 1,064 мкм

Д.Н. Тимофеев, А.В. Коношонкин, Н.В. Кустова, В.А. Шишко, А.Г. Боровой

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

Представлены результаты расчета и анализ матрицы рассеяния света случайно ориентированных ледяных частиц невыпуклой формы (полюй столбик) с углами впадины от 0 до 50° для лидарных длин волн 0,355; 0,532 и 1,064 мкм и показателей преломления 1,3249; 1,3116 и 1,3004. Расчет проводился в рамках методов приближения как физической, так и геометрической оптики для размеров частиц от 10 до 100 мкм. В результате показано, что дифференциальное сечение рассеяния для невыпуклой формы (полюй столбик) демонстрирует степенную зависимость от размера частиц. Однако коэффициент линейной деполяризации не имеет простой зависимости от размера частиц и практически не зависит от длины волны для мелких частиц ($L < 50$ мкм). Степень линейной деполяризации увеличивается от 0,2 до 0,5–0,8 с увеличением угла впадины кристалла. Приведены элементы матрицы рассеяния света в зависимости от рассеяния и угла впадины.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 20-35-70041).

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СУТОЧНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ДИАПАЗОНОВ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЧЕТЧИКА

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

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

На аэрозольной станции ИОА СО РАН с марта 2020 г. проводятся исследования конденсационной активности аэрозольных частиц разных размеров в приземном слое воздуха. Функции распределения частиц по размерам измерялись фотоэлектрическим счетчиком при искусственном увлажнении воздуха от 40 до 80%. Затем с использованием интегральных концентраций частиц $N(r > r_i)$ рассчитывались параметры конденсационной активности в зависимости от радиуса частиц, предполагая, что все частицы в узком диапазоне размеров имеют близкую конденсационную активность. В докладе анализируются сезонные особенности суточной изменчивости параметров конденсационной активности различных размерных фракций аэрозоля. Полученные данные сравнивались с суточным ходом параметров конденсационной активности для объемного коэффициента рассеяния, измеренных интегральным нефелометром.

Исследования выполнялись при финансовой поддержке РФФИ (соглашение № 19-77-20092).

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДНЕВНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭФФЕКТИВНОЙ ВЫСОТЫ АЭРОЗОЛЬНОГО СЛОЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБРАЩЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ И СТОЛБЕ АТМОСФЕРЫ

В.В. Веретенников, С.С. Меньщикова

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

Рассмотрена изменчивость эффективной высоты аэрозольного слоя в течение летнего дня в районе Томска. Эффективная высота определялась как отношение $H_V = V_T/V_g$ объемных концентраций аэрозольных частиц в столбе атмосферы V_T и приземном слое V_g . Объемная концентрация, а также средний радиус аэрозольных частиц были определены по результатам обращения характеристик спектрального пропускания света в столбе атмосферы и на горизонтальной трассе. Микроструктурные параметры аэрозоля анализировались отдельно для субмикронной и грубодисперсной фракций частиц. Рассмотрено влияние приходящей солнечной радиации, температуры и относительной влажности на дневной ход микроструктурных параметров и эффективной высоты аэрозоля.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

МИКРОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

В.В. Веретенников, С.С. Меньщикова

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

Представлены результаты численного моделирования характеристик рассеяния и поглощения света аэрозодем в приземном слое атмосферы по данным о микроструктуре аэрозоля, которая была определена при обращении спектральных измерений коэффициента аэрозольного ослабления на горизонтальной трассе в районе Томска. Рассмотрены угловые и спектральные зависимости индикатрисы рассеяния, степени поляризации, а также альbedo однократного рассеяния. Необходимые для расчетов данные о комплексном показателе преломления аэрозольного вещества были получены с использованием оптической модели Крекова–Рахимова [1]. Входным параметром модели [1] является относительная влажность воздуха, значения которой были взяты из данных метеонаблюдений [2].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 256 с.
2. URL: <https://lop.iao.ru/RU/tor/MeteoandGas/>

РАСШИРЕННЫЙ БАНК ДАННЫХ МАТРИЦ РАССЕЙАНИЯ СВЕТА ДЛЯ ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛОВ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ РАЗМЕРАМИ ОТ 10 ДО 1000 мкм

И.В. Ткачев^{1,2}, А.В. Коношонкин^{1,2}, Д.Н. Тимофеев¹, Н.В. Кан¹, Н.В. Кустова^{1,2}

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

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
tiv@iao.ru, sasha_tvo@iao.ru, tdn@iao.ru, n.kan.08@gmail.com, kustova@iao.ru*

Научный интерес к перистым облакам обусловлен, с одной стороны, их значительным влиянием на климат нашей планеты, с другой – необходимостью их учета при интерпретации данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Для ответа на эти вопросы необходимо решить прямую задачу рассеяния света на частицах перистых облаков.

Решение данной задачи нами проводилось с использованием разработанного в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН уникального метода физической оптики. Этот метод эффективен для исследования оптических свойств частиц с размером, значительно большим длины волны падающего излучения.

Ранней нами уже был представлен банк данных решения задачи рассеяния света на гексагональных столбиках, размеры которых варьировались в диапазоне от 10 до 100 мкм.

В данном докладе представлено решение для расширенного диапазона размеров от 10 до 1000 мкм с узловыми размерами (160, 250, 400, 630 и 1000 мкм). Результаты для узловых размеров получены на основе анализа решения в диапазоне окрестности узлового размера в 1–5 мкм, что позволило получить более точное решение (диапазон варьировался в зависимости от длины волны, коэффициента поглощения и преломления).

В результате исследования установлено, что при увеличении размеров частицы с 100 до 1000 мкм происходит плавный рост интенсивности, а также уменьшение деполяризации с ростом размеров частицы. В зависимости от длины волны уменьшение деполяризации и рост интенсивности происходит по-разному, но в среднем деполяризационное отношение находится в диапазоне 0,1–0,3 отн. ед.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 19-45-703010.

СЕЗОННЫЙ И СУТОЧНЫЙ ХОД ПАРАМЕТРОВ ОРЕОЛЬНОЙ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ ПРИ 20° И $1,2^\circ$ И ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ОТНОШЕНИЕМ КОНЦЕНТРАЦИЙ СУБМИКРОННЫХ И ГРУБОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В РАМКАХ КЛАССА «ФОН» «АЭРОЗОЛЬНОЙ ПОГОДЫ»

Вас.В. Польшкин, Вик.В. Польшкин

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

С 2010 г. на аэрозольной станции ИОА СО РАН проводятся круглосуточные измерения ореольной индикатрисы рассеяния в диапазоне углов рассеяния от $1,2^\circ$ до 20° . Параллельно с помощью фотоэлектрических счетчиков проводились измерения счетной концентрации аэрозольных частиц в диапазоне размеров $0,4\div 10$ мкм. В докладе анализируются сезонные особенности суточной изменчивости отношения $I(20^\circ)/I(1,2^\circ)$ для ореольной индикатрисы, а также взаимосвязь этого параметра с отношением концентраций субмикронных частиц ($d = 0,4\div 1$ мкм) к грубодисперсным ($d > 1$ мкм) в рамках класса «фон» «аэрозольной погоды».

Анализ сезонных особенностей суточной изменчивости проводились при финансовой поддержке РФФ (соглашение № 19-77-20092).

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ВБЛИЗИ НАПРАВЛЕНИЯ РАССЕЯНИЯ НАЗАД НА КРУПНЫХ ЧАСТИЦАХ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ

Н.В. Кустова¹, А.Г. Боровой¹, А.В. Коношонкин^{1,2}, Д.Н. Тифофеев¹, В.А. Шишко¹

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

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*
kustova@iao.ru

Рассеяние света перистыми облаками, состоящими из кристаллов льда различного размера и формы, является важной проблемой атмосферной оптики, поскольку перистые облака существенно влияют на радиационный баланс Земли. В то время как проблема рассеяния света простыми правильными формами кристаллов, такими как гексагональные столбики и пластинки, была решена численно в последнее десятилетие, большие кристаллы неправильных форм еще плохо изучены из-за высоких требований к компьютерным ресурсам. В данном докладе матрицы рассеяния для случайно ориентированных крупных частиц с плоскими гранями были рассчитаны с использованием приближений геометрической и физической оптики. Показано, что матрицы рассеяния для частиц правильной и неправильной формы различаются. Для частиц правильной формы эффект уголкового отражения преобладает в обратном направлении. В случае неправильной формы матрицы рассеяния имеют два общих свойства. А именно, элементы матрицы имеют вблизи направления обратного рассеяния некоторые типичные пики, которые объясняются интерференцией оптических пучков света [1]. Кроме того, интерференцией можно объяснить известный в астрофизике эффект отрицательной поляризации. Этот эффект проявляется как пик степени линейной поляризации вблизи направления рассеяния назад [2]. Эти два свойства, в основном, исследуются в астрофизике, где астрономы изучают свет, который первоначально испускается Солнцем, а затем рассеивается планетами и другими объектами солнечной системы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 21-55-53027), а также поддержке РНФ (соглашение № 21-77-10089) в части численных расчетов матриц рассеяния методом физической оптики.

1. Shishko V.A., Konoshonkin A.V., Kustova N.V., Timofeev D.N., Borovoi A.G. Coherent and incoherent backscattering by a single large particle of irregular shape // Opt. Express. 2019. V. 27, N 23. P. 32984–32993.
2. Grynko Y., Shkuratov Y., Forstner J. Intensity surge and negative polarization of light from compact irregular particles // Opt. Lett. 2018. V. 43, N 15. P. 3562–3565.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНЫХ НЕСФЕРИЧЕСКИХ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В РАМКАХ ПРИБЛИЖЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Н.В. Кан¹, В.А. Шишко^{1,2}, Д.Н. Тимофеев¹, Н.В. Кустова¹, А.В. Коношонкин^{1,2}, А.Г. Боровой¹

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
n.kan.08@gmail.com

При исследовании оптических свойств несферических атмосферных аэрозольных частиц необходимо учитывать влияние формы и размеров частицы на характеристики рассеянного излучения. Поскольку напрямую выполнить расчет для всего разнообразия форм и размеров атмосферных частиц практически невозможно, ключевую роль в решении поставленной задачи играет выявление физических факторов, оказывающих доминирующее влияние на оптические характеристики. Такую оценку можно провести в рамках эффективного, с точки зрения вычислительных ресурсов, приближения геометрической оптики.

В работе представлены численные расчеты матриц рассеяния света для кристаллических частиц различных форм: столбики, пластинки, дроксталлы и частицы произвольной формы. Исследовалось влияние длин волн и коэффициентов поглощения на элементы матрицы рассеяния света для хаотически ориентированных частиц указанных форм, а также проводилась оценка влияния числа ориентаций частицы на сходимость численного решения.

Решение строилось в рамках приближения геометрической области по всей сфере направлений рассеяния для диапазона размеров частиц от 10 до 1000 мкм, при длинах волн: 0,355; 0,532; 0,65; 1,064; 1,64 и 2,13 мкм. Показано, что учет влияния поглощения на длинах волн 1,64 и 2,13 мкм приводит к существенному изменению элементов матрицы рассеяния света. В частности, учет коэффициента поглощения на длине волны 2,13 мкм (для дроксталлов диаметром 1000 мкм) приводит к уменьшению дифференциального сечения рассеяния в окрестности направления рассеяния назад более чем в 10 раз по сравнению с решением, полученным без учета влияния поглощения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 19-45-703010.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛАХ РАЗМЕРАМИ ПОРЯДКА ДЛИНЫ ВОЛНЫ МЕТОДАМИ DDA И ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

В.А. Шишко, А.В. Козодоев, Д.Н. Тимофеев, Н.В. Кустова, А.В. Коношонкин, А.Г. Боровой

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

Представлены результаты решения задачи рассеяния света на хаотически ориентированных гексагональных ледяных столбиках размером от 0,05 до 5,17 мкм, выполненные в рамках приближения дискретных диполей (DDA) [1]. Проведено сравнение результатов с решением, полученным в приближении физической оптики [2], сравнение выполнено на длине волны 0,532 мкм. Установлено, что решение, полученное в рамках DDA, хорошо согласуется с решением полученным в приближении физической оптики в окрестности углов рассеяния 0–10° (окрестность рассеяния вперед). При этом в окрестности 10–60° прослеживаются хорошие признаки сходимости двух решений с ростом размера частицы. Однако для решения задачи рассеяния света в окрестности направления назад, важной для интерпретации лидарных данных, сходимость методов до размеров 5,17 мкм

не наблюдается, следовательно, необходимо использовать решение, полученное в рамках метода DDA. Полученные результаты необходимы для построения алгоритмов интерпретации лидарных данных, полученных при зондировании перистых облаков.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 21-77-00083).

1. Yurkin M.A., Maltsev V.P., Hoekstra A.G. The discrete dipole approximation for simulation of light scattering by particles much larger than the wavelength // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2007. V. 106. P. 546–557.
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.

О СИЛАХ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА АЭРОЗОЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ В ПОЛЕ АТМОСФЕРНОЙ РАДИАЦИИ

С.А. Береснев, М.С. Васильева, Л.Б. Кочнева

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

На основе публикаций последних лет проведен критический анализ представлений о силах, воздействующих на атмосферные аэрозольные частицы в поле излучения. Проанализированы особенности продольного радиометрического фотофореза (с учетом возможности вращения частиц), обсуждается современная трактовка термина «гравитофотофорез» и его соотношения с так называемыми «аккомодационными» силами. Проанализированы известные экспериментальные данные в этой области. Обсуждаются особенности фотофоретического движения фрактало-подобных углеродосодержащих частиц и их отличия от движения компактных сферических частиц. Анализируются конкурирующие силовые механизмы (термическая конвекция, вертикальный ветер), оценивается их роль и значение в геоинженерных проектах с аэрозольными экранами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках госзадания ИЕНиМ УрФУ по теме FEUZ-2020-0057.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

С.А. Шишигин

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

Температура поверхности Земли, которая характеризует минимальную разность между рассчитанными содержаниями метана в атмосфере по уходящему излучению в каждом спектральном участке 1235,95–1236 и 1235,95–1236 см⁻¹ при вариациях температуры поверхности Земли в используемой модели атмосферы [1], наиболее соответствует эффективной температуре подстилающей поверхности Земли исследуемым мощностям уходящего излучения.

Особенностью колебательно-вращательных полос поглощения метана 1235,95–1236 и 1235,95–1236 см⁻¹ является изменение спектрального коэффициента поглощения с изменением температуры. Уменьшение значений функции пропускания в одних участках спектра с ростом температуры, и возрастание в других участках спектра при температурах 250–300 К можно объяснить перераспределением заселенности колебательно-вращательных уровней полосы поглощения метана. Изменение температуры газа на 1–50° приводит к увеличению энергии молекулы на $\approx 0,87 \cdot 10^{-4} - 4,35 \cdot 10^{-3}$ эВ, что соответствует интервалу энергий между последовательными вращательными уровнями молекулы.

1. *Шишигин С.А.* Исследование корректировки определения содержания газа в воздухе по уходящему излучению атмосферы // *Оптика атмосфер. и океана.* 2019. Т. 32, № 11. С. 925–929.

КОРРЕКТИРОВКА ВЫСОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

С.А. Шишигин

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

Рассмотрена модель атмосферы в виде горизонтальных однородных слоев толщиной 100 м, которая преобразуется в один однородный слой или в два однородных слоя, без изменения мощности уходящего излучения атмосферы спектрального участка (1235,95–1236 и 1235,95–1236 см⁻¹). Определяется отклонение содержания исследуемого газа в каждом слое от стандартного вертикального распределения газа в атмосфере с помощью методики, которая представлена в статье [1]. Размер однородного слоя выбирается произвольно, что позволяет оперативно контролировать изменения содержания исследуемого газа во всех слоях атмосферы Земли.

В данной работе рассмотрена возможность корректировки эффективной температуры слоя воздуха при определении содержания метана в атмосфере на основе анализа уходящего излучения Земли только в *P*-ветви полосы поглощения метана. Минимальное значение разности содержания метана в атмосфере, рассчитанных по уходящему излучению Земли в спектральных участках 1235,95–1236 и 1277,5–1277,55 см⁻¹ *P*-ветви полосы поглощения метана при вариации температуры эффективного слоя атмосферы соответствует температуре среды.

1. *Шишигин С.А.* Исследование корректировки определения содержания газа в воздухе по уходящему излучению атмосферы // *Оптика атмосфер. и океана.* 2019. Т. 32, № 11. С. 925–929.

ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОЙ КОМПОНЕНТЫ АЭРОЗОЛЯ, ОТОБРАННОГО В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ

Н.Г. Воронцовская¹, Г.С. Певнева¹, А.С. Козлов², Л.В. Куйбида², Д.В. Симоненков³, М.Ю. Аршинов³, С.Б. Белан³, Д.К. Давыдов³, Г.А. Ивлев³, Г.Н. Толмачев³, А.В. Фофонов³

¹Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия

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

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

voronetskaya@ipc.tsc.ru

Проводимые исследования состава органической компоненты атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири, в основном, были направлены на изучение углеводородного состава тропосферных аэрозолей [1], тогда как аэрозоли, отобранные в приземном слое, практически не изучались. Пробы аэрозоля были отобраны в весенне-зимний период в 2019 и 2020 гг. Анализ органической части аэрозоля проводился на хромато-масс-спектрометре Agilent 6890N. Для идентификации углеводородов использовались библиотечные базы данных масс-спектров NIST.

Установлено наличие алканов линейного, нерегулярного и циклического строения, а также алкил- и нафтоароматических углеводородов ряда бензола, нафталина, фенантрена, ПАУ. Показано, что изменения качественного состава углеводородов незначительны, тогда как в количественном отношении изменения состава более заметны для трицикланов, стеранов и гопанов, нафталина, диметилнафталинов и метилантрацена.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-45-700020.

1. Воронцовская Н.Г., Певнева Г.С., Головки А.К., Козлов А.С., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н. Углеводородный состав тропосферного аэрозоля юга Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 6. С. 496–505.

ДИСТАНЦИОННЫЙ И НАЗЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЖАРОВ ОБЬ-ТОМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

М.Н. Алексеева, И.В. Русских, И.Г. Ященко, П.Б. Кадычагов

Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия

amn@ipc.tsc.ru

Достоверные результаты исследования пожаров, оконтуривание гарей и оценку повреждения лесов можно получить с использованием космических снимков (КС) и наземных данных. Изучено состояние растительности на постпирогенном и фоновых участках. Пожар произошел 22.05.2020 г. в междуречье Обь–Томь. Горел сосновый лес с присутствием березы, подлеска из акции и рябины.

КС Landsat-8 и Sentinel-2 за 12.04.2020, 29.06.2020, 17.07.2020, 11.08.2020, 28.09.2020 г. предварительно обработали по стандартным формулам. Далее по КС рассчитали вегетационные индексы NDVI, SWVI. Использовали значения пикселей каналов КС в красной, инфракрасной и средней ИК-области спектра, наиболее информативных в отношении клеточной структуры и влагосодержания растений. По сравнению с фоновым участком установлено снижение биомассы и влажности растительности на постпирогенном участке на 0,1–0,2 и 0,13–0,35 соответственно. В ходе наземных исследований установлено, что по сравнению с фоновыми аналогами в постпожарных листьях акции увеличилось содержание алифатических углеводородов C₁₉, C₂₇, C₂₉, в 1,2 раз; в листьях рябины содержание C₂₁–C₂₈ возросло в среднем в 1,6 раз. В листьях березы содержание исследуемых веществ, за исключением C₃₀ и C₃₁, снизилось в 6,5 раз. В торфе содержание исследуемых веществ ниже в 2 раза. Вероятно, это объясняется выгоранием преимущественно верхней части подлеска.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР № 121031500046-7).

ВЫНОС АРИДНОГО АЭРОЗОЛЯ В МОСКВУ ОСЕНЬЮ 2020 г.

Д.П. Губанова, М.А. Иорданский, О.Г. Чхетиани, Н.Ф. Еланский, А.И. Скороход

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

Рассмотрен редкий эпизод дальнего переноса пылевого аэрозоля из аридных зон юга Европейской территории России (ЕТР) – Северного Прикаспия, Астраханской обл. и республики Калмыкия – в Московский регион. Обсуждаются результаты проводимого в ИФА РАН интенсивного комплексного эксперимента по исследованию состава приземного аэрозоля в Москве [1], полученные осенью 2020 г., с учетом особенностей синоптической обстановки и метеорологических условий. Аномально высокие значения концентрации приземного аэрозоля в Москве зарегистрированы в период с 6 по 14 октября в условиях антициклонической активности, при штиле или тихом и легком ветре (1–2 м/с), при господстве юго-восточного переноса воздушных масс. При этом среднесуточная концентрация аэрозольных частиц PM_{10} превысила ПДК_{сс} в 1,5–4,5 раза, счетная концентрация крупных (микронных) частиц возросла на порядок и более. Сравнительный анализ элементного состава московского аэрозоля (во время этого эпизода) и приземного аэрозоля Калмыкии (по данным наблюдений в июле 2020 г.) показал высокую корреляцию концентраций элементов терригенного происхождения. Дальний перенос аэрозоля анализировался с помощью траекторного анализа движения воздушных масс (модель HYSPLIT) и данных реанализа MERRA-2. Обсуждается значимость такого события для центра ЕТР по статистическим оценкам [2].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-50088, экспериментальное исследование состава приземного аэрозоля в Москве) и РНФ (грант № 20-17-00214, экспериментальное исследование состава аэрозоля регионов Юга России).

1. Губанова Д.П., Виноградова А.А., Иорданский М.А., Скороход А.И. // Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. 2021. Т. 57, № 3. С. 334–348. DOI: 10.31857/S0002351521030056.
2. Shukurov K.A., Chkhetiani O.G. // Proc. SPIE. 10466. 2017. 104666F. P. 1–9. DOI: 10.1117/12.2287932.

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В ОПУСТЫНЕННЫХ И ЗАСУШЛИВЫХ ЗОНАХ ЮГА РОССИИ

Д.П. Губанова, О.Г. Чхетиани, М.А. Иорданский, Л.О. Максименков, М.С. Артамонова

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

Выполнен сравнительный анализ элементного состава и микрофизических параметров приземного аэрозоля опустыненных участков Калмыкии и аридного района Ростовской обл., полученные по данным многолетних наблюдений. Сопоставлены результаты ранее проведенных исследований 2007–2016 гг. [1–3] и полевого эксперимента в Черноземельском районе Республики Калмыкия и на Цимлянской научной станции ИФА им. А.М. Обухова РАН (ЦНС ИФА РАН), реализованного летом 2020 г. Рассмотрена динамика состава приземного аэрозоля пустынных и засушливых зон Юга России в летний период с учетом синоптических и метеорологических условий. Рассчитаны коэффициенты обогащения химических элементов в аэрозолях разных природных территорий. Обсуждается происхождение химических элементов в составе приземного аэрозоля с использованием геохимического подхода [2].

Авторы выражают благодарность В.А. Лебедеву и А.А. Хапаеву за неоценимую помощь в подготовке и проведении экспериментальных исследований приземного аэрозоля в Калмыкии и на ЦНС ИФА РАН.

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

1. Chkhetiani O.G., Vazaeva N.V., Chernokulsky A.V. et al. // Atmosphere. 2021. V. 12, N 8. P. 985. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos12080985>.
2. Губанова Д.П., Кудерина Т.М., Чхетиани О.Г. и др. // Геофизические процессы и биосфера. 2018. Т. 17, № 3. С. 334–348. DOI: 10.31857/S0002351521030056.
3. Артамонова М.С., Губанова Д.П., Иорданский М.А. и др. // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15, № 1. С. 5–24.

СЧЕТНЫЕ И МАССОВЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛЬЦЫ РАЗНОТРАВЬЯ В АТМОСФЕРЕ В ОКРЕСТНОСТЯХ г. НОВОСИБИРСКА

В.В. Головки

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

Пыльца анемофильных растений является одной из наиболее массовых и повсеместно распространенных биогенных компонент грубодисперсной фракции атмосферного аэрозоля. Сроки поступления пыльцы разных видов в атмосферу обуславливаются последовательным цветением ветроопыляемых растений. В зависимости от того, пыльца каких видов растений преобладает в атмосфере, на протяжении вегетационного периода выделяют периоды с численным доминированием пыльцы: 1) древесных растений; 2) злаков; 3) разнотравья (маревых, полыни, конопли, крапивы).

В данной работе продолжены исследования пыльцевой компоненты атмосферного аэрозоля в окрестностях г. Новосибирска. Исследовалась сезонная и суточная динамика содержания пыльцы в атмосфере в периоды цветения сорных трав (разнотравья). Измерены счетные и массовые концентрации пыльцы маревых: полыни, конопли, крапивы, а также злаков и древесных растений. Оценен вклад пыльцевой компоненты в суммарную массовую концентрацию атмосферного аэрозоля в период преобладания в атмосфере пыльцы разнотравья. Произведено сравнение концентраций пыльцевых зерен разнотравья в атмосфере в пос. Ключи и в Академгородке г. Новосибирска. Отмечены необычно высокие концентрации пыльцы крапивы в атмосферном воздухе в период исследования.

КЛАСТЕРНЫЙ СОСТАВ ПЫЛЬЦЫ АНЕМОФИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ, ПОСТУПАЮЩЕЙ В АТМОСФЕРУ

В.В. Головки¹, Г.А. Зуева², Т.И. Киселева²

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

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

Хотя пыльца ветроопыляемых растений является частицами биологического происхождения, ее перенос ветром – физический процесс, дальность которого определяется, в первую очередь, скоростью оседания пыльцевых частиц. Пыльцевые зерна анемофильных растений имеют ряд морфологических приспособлений, препятствующих образованию кластеров. Однако при искусственном распылении пыльцы наблюдаются кластеры из двух или большего числа зерен.

Исследовался кластерный состав пыльцы, поступающей в атмосферу. Приведены результаты исследования эмиссии в атмосферу пыльцы нескольких анемофильных видов растений. Оценена доля кластеров из двух или большего числа пыльцевых зерен от суммарного числа пыльцевых частиц, поступающих в атмосферу. Показано, что подобные кластеры в значительных количествах образовывались во всех сериях опытов. Доля пыльцевых кластеров достигала $\approx 70\%$ от общего числа пыльцевых частиц. Доля пыльцевых зерен в составе кластеров достигала ≈ 95 и более процентов.

ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА УЛИЧНОЙ ПЫЛИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА, ПОДВЕРГАЕМОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ г. МЕЖДУРЕЧЕНСК, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.В. Таловская, И.А. Сапрунова, Н.А. Осипова, Е.Г. Язиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
ias79@tpu.ru*

Представлены результаты оценки воздействия угледобывающих предприятий на экологическую обстановку города по изучению минерально-вещественного состава проб уличной пыли на территории г. Междуреченск. Исследование проб выполнялось шлиховым методом на бинокулярном стереоскопическом микроскопе с видео приставкой, а также с помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрией

в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология». В результате в пробах определены типы природных и техногенных частиц. Природные частицы представлены минеральными фазами кварца, полевых шпатов (альбит, ортоклаз), карбонатов (кальцит, доломит), слюды (мусковит), глинистыми минералами (каолинит, хромит) и минералами группы железа (гематит, ильменит). Техногенные образования состоят в основном из угольных частиц и угольной пыли (5–23%), а также в небольшом количестве шлака (3–10%), микросферул (2–12%), микропластика (1–4%) и продуктов выдувания с дорожных покрытий (2–6%). В пробах доля природных частиц (60–75%) преобладает над долей техногенных образований (25–40%). Накопление минеральных фаз, угольных частиц и угольной пыли связано с выдуванием почвогрунтов и дальним переносом пылевых выбросов от близко расположенных к городу угледобывающих предприятий.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-05-00675 А).

УТОЧНЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ СУММАРНОГО БЕЛКА И КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В ХОДЕ САМОЛЕТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Г.А. Буряк¹, А.С. Сафатов¹, И.С. Андреева¹, С.Е. Олькин¹, О.В. Охлопкова¹, М.Е. Ребус¹, И.К. Резникова¹,
Н.А. Соловьянова¹, Д.В. Симоненков², Б.Д. Белан²

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

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

С декабря 1998 г. в рамках самолетного зондирования атмосферы над Караканским бором Новосибирской области на восьми различных высотах отбирались пробы для определения концентраций суммарного белка и культивируемых микроорганизмов. Для определения концентрации суммарного белка пробы на каждой высоте отбирались на волокнистые фильтры АФА-ХА-20 (объем прокачки 1,5–2 м³), для выявления культивируемых микроорганизмов – в импинджеры с раствором Хенкса (объем прокачки 300–750 л).

Концентрации суммарного белка определялись с помощью флуоресцентного красителя, концентрации культивируемых микроорганизмов – высевом последовательных разведений исходной пробы на пять различных питательных сред [1]. Результаты для каждого полета нормировались на среднюю величину и нормированные профили суммировались для построения профиля вместе с доверительными интервалами для каждого года или каждого месяца за все годы наблюдений.

Все построенные профили слабо зависят от высоты, оставаясь практически вертикальными. На них не скажется даже то, что за время наблюдений в нашем регионе среднегодовые концентрации суммарного белка и культивируемых микроорганизмов уменьшились в разы. Следовательно, существуют механизмы, поддерживающие такие профили для биологических компонент аэрозоля; полная концентрация аэрозольных частиц в атмосфере резко падает с высотой.

Работа выполнена при частичной поддержке Государственных заданий Роспотребнадзора РФФИ (грант № 19-05-50024) и ЦКП ИОА СО РАН «Атмосфера».

1. Safatov A.S. et al. Atmospheric Bioaerosols / I. Agranovski (ed.) // Aerosols – Science and Technology. Wienheim: Wiley – VCH, 2010.

ЛИДАРНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЗОНА: КВАЗИТРЕХЛЕТНЯЯ СЕЗОННАЯ МОДЕЛЬ И ПОГРЕШНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

А.А. Невзоров, А.В. Невзоров, С.И. Долгий, А.П. Макеев, Ю.В. Гриднев, Н.С. Кравцова,
Я.О. Романовский, О.А. Романовский, О.В. Харченко

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

naa@iao.ru

На Сибирской лидарной станции продолжаютя долговременные измерения вертикального распределения озона на парах длин волн зондирования 299/341 и 308/353 нм в диапазоне высот 5–45 км. В докладе представлена модель Крюгера и сформированная за последние годы квазитрехлетняя сезонная модель вертикальных

профилей озона, полученная с помощью лидарного комплекса дифференциального поглощения Сибирской лидарной станции и спутников Aura, MetOp в верхней тропосфере – стратосфере. Проведен анализ и оценка влияния разного пространственного разрешения от 30 до 100 м на погрешность восстановленных профилей озона по лидарным и спутниковым измерениям 2021 г.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК-2040.2021.1.5).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА БИОРАЗНООБРАЗИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ

А.С. Сафатов

ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

Разработка молекулярно-биологических методов анализа генетического материала микроорганизмов открыло новые широкие возможности исследования биоразнообразия микроорганизмов в атмосферных аэрозолях. Наряду с выявляемыми культуральными методами микроорганизмами в пробах атмосферных аэрозолей эти методы позволяют выявить и некультивируемые в обычных условиях микроорганизмы, включая вирусы, а также провести идентификацию к каким микроорганизмам (в том числе и неизвестным ранее) относится их выявленный генетический материал. Таким образом, использование молекулярно-биологических методов существенно расширило наши знания о биоразнообразии микроорганизмов в атмосферных аэрозолях, его изменчивости во времени и пространстве.

Вместе с тем, несмотря на несомненные достоинства, молекулярно-биологические методы имеют свои ограничения, что существенно снижает возможности количественного определения выявляемого биоразнообразия и точной идентификации обнаруженного генетического материала.

В работе приводится описание разработанных молекулярно-биологических методов анализа генетического материала микроорганизмов, обсуждаются достоинства и недостатки при их использовании для анализа биоразнообразия микроорганизмов в атмосферных аэрозолях.

Работа выполнена при частичной поддержке Государственных заданий Роспотребнадзора, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2019-1665), РФФИ Микромир (№ 19-05-50032).

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КАМЕРНОГО МЕТОДА В МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА БАКЧАРСКОМ БОЛОТЕ

О.Ю. Антохина¹, Д.К. Давыдов¹, О.А. Краснов¹, А.В. Фофонов¹, Ш.Ш. Максюттов²

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

*²National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan
alenfo@iao.ru*

Автоматизированные камерные системы, работающие в закрытом динамическом режиме, наряду с методом турбулентных пульсаций (*eddy covariance method*), рекомендуются в качестве основного метода для измерений потоков парниковых газов на границе «почва-атмосфера» на станциях мониторинга входящих в систему ICOS (Integrated Carbon Observation System) [1].

В докладе приводятся данные мониторинга потоков двуокиси углерода (CO₂) и метана (CH₄) в характерных растительных ассоциациях на Бакчарском болоте в Томской области в теплые периоды 2013–2021 гг. Круглосуточные наблюдения за газовыми потоками из почвы проводились с помощью двух измерительных камерных комплексов «FluxNIES»: на участке мезотрофной осоково-сфагновой топи и в грядово-мочажинном ландшафте олиготрофного болота.

На основе полученных данных анализируется межгодовая и пространственная изменчивость поглощения атмосферного углерода и его эмиссии в изучаемых болотных экосистемах. Рассматривается влияние погодных условий, приведших к снижению поглощения CO₂ болотной растительностью в сезонах 2016 и 2020 гг. и падению эмиссии CH₄ в 2018 г. Определяется доля участия озер в газообмене на поверхности болот.

Так как углеродный баланс болотных экосистем сильно зависит от увлажнения и прогрева торфяной залежи, рассматривается многолетнее поведение почвенных вод на территории проведения исследований.

Работа выполнена по проекту государственного задания ИОА СО РАН № 121031500342-0. Обеспечение полевых измерений осуществлялось при участии Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

1. Pavelka M., et al. Standardization of chamber technique for CO₂, N₂O and CH₄ fluxes measurements from terrestrial ecosystems // Int. Agrophys. 2018. V. 32, P. 569–587. DOI: 10.1515/intag-2017-0045.

АНАЛИЗ БИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ В АЭРОЗОЛЕ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

О.В. Охлопкова¹, И.С. Андреева¹, М.Ю. Карташов¹, Б.С. Мальшев¹, Е.М. Астахова¹, К.А. Коваленко¹,
А.С. Сафатов¹, Д.В. Симоненков², Б.Д. Белан²

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

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

ohlopkova_ov@vector.nsc.ru

Результаты существующих исследований указывают на то, что в атмосфере присутствует большое количество биогенных компонентов, в частности микроорганизмов. Численные оценки показывают, что микроорганизмы могут находиться в атмосфере длительное время. Существует мнение, что именно длительное пребывание в атмосфере является одной из основных причин изменчивости микроорганизмов, возникновения новых штаммов, в том числе патогенных для человека.

В рамках данной работы было проведено исследование численности и состава жизнеспособных микроорганизмов, присутствующих в арктической атмосфере, а также выявлены определенные тенденции и перспективы дальнейшего изучения данной проблемы. Самолетное зондирование проходило по маршруту: Новосибирск–Архангельск–Нарьян-Мар–Сабетта–Тикси–Анадырь–Томск–Новосибирск.

Установлено, что атмосфера Российской Арктики достаточно насыщена частицами биологического происхождения. Более детально их влияние, миграцию и изменчивость, а также потенциальную патогенность можно будет установить в дальнейших исследованиях.

Исследование было выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2019-1665) и госзадания Роспотребнадзора.

СРАВНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПРОБАХ ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ИНГАЛЯЦИИ МЕТАЛЛООКСИДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Б.Г. Агеев, О.Ю. Никифорова

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

nik@iao.ru

Человек постоянно неосознанно вступает в контакт с огромным количеством наноразмерных частиц, выделяющихся в атмосферу в результате промышленной деятельности. Особенностью металлооксидных наночастиц является их способность проникать через клеточные мембраны и взаимодействовать с белковыми макромолекулами. Отмечено возможное токсическое воздействие нанодисперсных частиц [1]. Известно, что концентрация углекислого газа в выдыхаемом воздухе свидетельствует о состоянии здоровья человека [2]. Поскольку углекислый газ играет важную роль в метаболизме многих живых существ, в данной работе представлены результаты измерения концентрации CO₂ в пробах воздуха из носа лабораторных животных до и после ингаляции нанопорошками феррита кобальта CoFe₂O₄, магнетита Fe₃O₄ и диоксида олова SnO₂. Концентрации определены по спектрам поглощения проб воздуха, зарегистрированным с помощью лазерного оптико-акустического газоанализатора.

Установлено, что ингаляция наночастицами магнетита приводит к снижению концентрации углекислого газа в пробах выдыхаемого воздуха лабораторных животных, что может свидетельствовать о негативном влиянии такого воздействия.

Авторы выражают благодарность к.м.н. Т.Н. Зайцевой и З.Р. Петлиной за подготовку проб и участие в экспериментах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Носарев А.В., Абраменко Е.Е., Каплевич 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>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДЫМАХ СИБИРСКИХ БИОМАСС

А.С. Козлов¹, О.Б. Поповичева², Д.Г. Чернов³, В.П. Шмаргунов³, В.Н. Ужегов³, М.В. Панченко³,
J. Schnelle-Kreis⁴, H. Czech⁵, R. Zimmermann^{4,5}

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

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

³НИИ Ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ, г. Москва, Россия

⁴Helmholtz Zentrum Munchen, Munchen, Germany

⁵University of Rostock, Rostock, Germany

kozlov@kinetics.nsc.ru

Ежегодно наблюдаемые обширные лесные пожары, шлейфы которых распространяются на сотни километров, увеличивают аэрозольную нагрузку атмосферы, приводят к значительным климатическим последствиям. Дымовые эмиссии значительно влияют на здоровье населения крупных городов. Большая Аэрозольная Камера (БАК) ИОА СО РАН, объемом 1800 м³, является уникальным инструментом для моделирования образования и старения дымов Сибирских лесных пожаров. В данной работе проводится моделирование фотохимических процессов, происходящих в атмосфере, при горении сибирских биомасс в БАК, представляющей собой самый большой в мире фотохимический реактор постоянного объема. Камера оборудована системой ультрафиолетового облучения в спектральном диапазоне 300–400 нм со средним уровнем освещенности около 26 Вт/м², близким к летнему уровню в Западной Сибири в приземном слое атмосферы. Установлено оборудование, обеспечивающее контролируруемую генерацию озона, окислов азота и паров воды, а также распределения температуры и влажности, необходимые для воспроизведения фотохимического равновесия газофазных процессов NO–NO₂–O₃ в атмосфере. Условия БАК позволяют проводить контролируемые аэрозольные наблюдения длительностью до 48 ч [1]. Комплексом аппаратуры анализируются оптические (рассеяние, поглощение) и микрофизические (число частиц, распределение по размерам) характеристики аэрозоля, образующегося в процессах горения и пиролиза лесных горючих материалов. Определена динамика установления фотохимического равновесия в системе NO–NO₂–O₃ и скорость фотолиза NO₂ при ультрафиолетовом облучении. Отработана методика анализа состава летучих органических соединений в дымах методом хромато-масс-спектрометрии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-55-12001).

1. Поповичева О.Б., Козлов В.С., Рахимов Р.Ф., Шмаргунов В.П., Киреева Е.Д., Персианцева Н.М., Тимофеев М.А., Engling G., Elephtheriadis K., Diapouli L., Панченко М.В., Zimmermann R., Schnelle-Kreis J. Оптико-микрофизические и физико-химические характеристики дымов горения сибирских биомасс: эксперименты в аэрозольной камере // Оптика атмосфер. и океана. 2016. Т. 29, № 4. С. 323–331.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ МИКРОЧАСТИЦ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА ОБИ

В.П. Шевченко¹, С.Н. Воробьев², И.В. Крицков², А.Г. Боев¹, Д.С. Воробьев², А.Г. Лим²,
А.Н. Новигатский¹, Д.П. Стародымова¹, Анд.А. Трифонов², Ант.А. Трифонов², О.С. Покровский^{3,2}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

³Geosciences Environment Toulouse, UMR 5563 CNRS, University of Toulouse, Toulouse, France

vshevch@ocean.ru

Нерастворимые микрочастицы в снежном покрове водосбора Оби были изучены от предгорий Алтая (г. Белокуриха) до полярного круга (пос. Новозаполярный, ЯНАО) 17.02–05.03.2021 г. и на востоке Васюганского болота (Томская обл.) 27–31.03.2021 г. Пробы снега отобраны в 33 точках от поверхности снежного по-

крова до границы с почвой (за исключением нижних 1–2 см). Снег отбирали в предварительно промытые (подготовленные в чистой комнате) полиэтиленовые пакеты и транспортировали в г. Томск при отрицательной температуре. В лаборатории снег растапливали и фильтровали через предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 47 мм с порами 0,45 мкм. Состав частиц был изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SEM (Tescan) с микрозондовой приставкой INCA Energy (Oxford Instruments).

В фоновых районах концентрация нерастворимых частиц в снеге была ниже 5 мг/л. Это незначительно выше, чем фоновые значения для снежного покрова Арктики. Значительно более высокие концентрации частиц были вблизи городов и автомобильных дорог. Взвешенное вещество снега состоит в основном из биогенных и литогенных частиц с примесью антропогенных частиц; доля антропогенных частиц повышается вблизи городов и автомагистралей. На расстоянии менее 200 м от шоссе, увеличивалась доля более крупных минеральных частиц, вероятно за счет ветрового переноса частиц из противогололедного материала.

Авторы благодарны А.В. Сорочинскому и С.Н. Кирпотину, принимавшим участие в экспедиционных исследованиях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50096).

РАЗРАБОТКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА

А.В. Смиховская, А.А. Большаков

*Акционерное общество «Научно-исследовательский институт точной механики»,
г. Санкт-Петербург, Россия
info@niitm.spb.ru*

Одними из наиболее перспективных методов определения кислорода в газовых смесях и жидкостях являются оптические бесконтактные методы, основанные на тушении кислородом длительной люминесценции органических соединений вследствие их высокой чувствительности к содержанию тушителя. АО «НИИ ТМ» ставит перед собой задачу разработки отечественного люминесцентного сенсора кислорода, обладающего существенными быстродействием и селективностью.

Образцами, чувствительными к содержанию кислорода в среде, служили окрашенные модифицированные кислородопроницаемые катионообменные мембраны МФ-4СК. В качестве кислородочувствительных люминесцирующих индикаторов использованы растворы Мезо-тетрафенилпорфирин палладия (II) (TPP Pd(II)). Введение металлопорфирина в мембрану осуществляют ее перемешиванием в растворе металлопорфирина в смеси вода : ацетон (1 : 5) в течение 5 мин. Мембрана промывается в растворителе и высушивается на воздухе в течение суток.

Результаты испытаний показали, что материал обладает высокой чувствительностью, долговременной стабильностью и высокой селективностью по отношению к обнаружению кислорода. Таким образом, полученный материал перспективен для использования в качестве чувствительного элемента датчика кислорода.

1. Евстратов А.А., Котов В.П., Муравьев Д.О., Курочкин В.Е. // Научное приборостроение. 1999.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДЫМОВЫХ ЭМИССИЙ ПРИ ГОРЕНИИ СИБИРСКИХ БИОМАСС В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ

А.В. Семенова, Ю.А. Завгородняя, М.А. Чичаева, О.Б. Поповичева

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия
AVSemyonova@mail.ru*

При определении влияния аэрозольных загрязнений на региональном и глобальном уровне приоритетное значение имеют исследования физико-химических и токсикологических характеристик дымовых эмиссий, данные о которых сильно ограничены для эмиссий сибирских лесных пожаров. Состав дымов, образующихся при горении сибирских биомасс, изучается в ходе модельных экспериментов, проводимых в Большой Аэрозольной Камере ИОА СО РАН. Методами Фурье-спектроскопии и газовой хроматографии-масс-спектрометрии исследован состав органических соединений аэрозолей, образующихся при сжигании образцов сосны сибирской и опада в режимах тления и открытого горения, а также его изменения в процессе старения дымов. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии определен качественный и количественный состав полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Установлены маркеры, позволяющие определять и разделять

источники сжигания биомасс по разнице химического состава аэрозолей в зависимости от условий низко- или высокотемпературного сжигания и в процессе эволюции в дымовом шлейфе: характерные наборы полос поглощения на инфракрасных спектрах, маркерные соотношения карбоксильных С=О групп и С–Н групп алифатических соединений, диагностические соотношения ПАУ. Проведена оценка токсичности продуктов горения сибирских биомасс.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ (грант № 20-55-12001).

МЕТАГЕНОМНЫЙ АНАЛИЗ БИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ В АЭРОЗОЛЕ ТРОПОСФЕРЫ ЮГА ЗАПАДНОСИБИРСКОГО РЕГИОНА

Е.М. Астахова¹, О.В. Охлопкова¹, Т.В. Трегубчак¹, А.Н. Швалов¹, А.С. Сафатов¹,
Д.В. Симоненков², Б.Д. Белан²

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

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
astahova_em@vector.nsc.ru

Представлены результаты сравнения некоторых методов обработки проб и прямой оценки выделенных, а также обогащенных методами ПЦР, вирусных нуклеиновых кислот из атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири.

Пробы воздуха были отобраны в апреле 2021 г. в районе Караканского бора, на высотах 500–1000, 1500–2000, 3000–4000, 5500–7000 м. Из цельных, а также предварительно охлажденных парами жидкого азота и гомогенизированных в лизирующем растворе образцов микробиома воздуха, выделены суммарные геномные фрагменты, проведено обогащение выделенных РНК и ДНК методом полимеразной цепной реакции с помощью случайных праймеров и определены характерные нуклеотидные последовательности с использованием современного оборудования для расшифровки структуры нуклеиновых кислот (методом секвенирования нового поколения, прибор Illumina MiSeq) с дальнейшим таксономическим анализом вирусных компонентов атмосферного аэрозоля. В результате которого, были обнаружены следы содержания в воздухе некоторых семейств вирусов, вызывающих респираторные инфекции. Более детальную информацию можно будет установить в дальнейших систематических исследованиях.

Исследование было выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2019-1665) и РФФИ (грант № 19-05-50024), с использованием ЦКП ИОА СО РАН «Атмосфера».

ГАЗООБРАЗНЫЕ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА В 2019–2020 гг.

О.И. Хуриганова, Л.П. Голобокова, Е.В. Елецкая, Т.В. Ходжер

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

Рассматривается изменчивость концентраций CO, NO_x, O₃ и SO₂ по обобщенным данным станций контроля атмосферы, располагающихся в населенных пунктах Байкальской природной территории (БПТ) в период 2019–2020 гг. Используются ежедневные данные сайта Росгидромета о загрязнении окружающей среды в районе озера Байкал, результаты прямых измерений на ст. Листвянка и Боярск, мониторинговые данные, полученные принудительным методом в рамках международной программы EANET. На ст. Листвянка в теплое время года (май–сентябрь) наблюдаются высокие концентрации CO в 2019 г. в 1,5 раза больше, чем в 2020 г., на ст. Иркутск – 1,3 и в Улан-Удэ – 1,1. Прежде всего, это связано с рекордным количеством лесных пожаров не только на территориях Иркутской обл., но и Красноярского края, Республики Саха (Якутия) и Забайкальского края. В исследуемый период наблюдалось превышение ПДК_{сс} CO в Иркутске (1,6 раза) и Улан-Удэ (1,1 раза). На ст. Иркутск, Шелехов, Боярск содержание озона в 2020 г. возросло в 1,3; 1,2 и 1,2 раза соответственно. На остальных станциях наблюдается обратная динамика концентрации O₃. В промышленных центрах (Иркутск, Улан-Удэ) содержание SO₂ и NO_x имеет обратную динамику в рассматриваемые месяцы. В докладе будут обобщены данные для большинства станций контроля атмосферы БПТ.

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

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

А.В. Яценко, Т.О. Перемитина, И.Г. Яценко

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

Перспективным и экономически оправданным подходом к диагностике экологического состояния труднодоступных территорий является применение методики выявления экологических проблем с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Особенно это актуально для территорий Арктической зоны. Предложен алгоритм количественной оценки состояния растительности, основанный на расчете вегетационных индексов, позволяющий проводить оценку динамики растительного покрова на протяжении всего вегетационного периода и делать выводы о текущем и прогнозном состоянии растительного покрова труднодоступных территорий. С применением данного алгоритма проведена количественная оценка состояния растительного покрова месторождений углеводородного сырья Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа по спутниковым данным MODIS.

Проведено исследование сезонной динамики значений спектрального индекса EVI на 12 июля (193-й день в году) за периоды вегетации в 2013–2021 гг. Расчет значений индекса EVI выполнен наложением векторных полигональных слоев территорий углеводородных месторождений Восточно-Таркосалинское, Вынгайхинское и Тарасовское на разновременные спутниковые снимки MOD13Q1 с информацией об индексе EVI. Установлено, что для большинства исследуемых территорий тенденция изменения значений индекса EVI однотипна – высокие значения в 2020 г. и минимальные значения в 2015 г. В целом можно заключить, что в 2020 г. наблюдаются положительные тенденции увеличения значения индекса EVI, что свидетельствует о процессе восстановления растительного покрова.

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

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА АЭРОЗОЛЕОБРАЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ВОЗДУХЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ ОТ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ОЧАГОВ ГОРЕНИЯ

А.М. Долгов, М.Е. Плехотниченко, Г.Г. Дульцева, С.Н. Дубцов

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

Исследовано содержание газообразных соединений, участвующих в образовании атмосферного органического аэрозоля, в воздухе на разных расстояниях от очагов горения двух типов: природных (лесные пожары) и антропогенных (тлеющие участки полигонов твердых бытовых отходов). Точки пробоотбора располагались на различных расстояниях от очагов горения с учетом метеорологических условий, чтобы исследовать воздушные массы, переносимые непосредственно из этих очагов. Пробы воздуха отбирались в поглощательные трубки, заполненные селективными модифицированными сорбентами для анализа органических соединений разных классов. При помощи методов высокоэффективной жидкостной хроматографии и спектрофотометрии измерены концентрации альдегидов (формальдегид, ацетальдегид, бензальдегид, фурфураль, акролеин), кетонов (ацетон, метилэтилкетон, метилфенилкетон), алифатических и ароматических гидроперекисей, карбоновых кислот, простых и сложных эфиров, органических нитритов и нитратов, оксидов азота в приземном слое воздуха. Прослежены фотоокислительные трансформации альдегидов с образованием продуктов перекисной природы, показано, что скорости этих процессов различны в зависимости от природы очага горения. Обнаружено накопление надмуравьиной и надуксусной кислот в воздушных массах, переносимых от очагов лесных пожаров. В воздушных массах вблизи полигонов отмечено присутствие непредельных альдегидов, среди которых преобладает акролеин, и галогенированных органических соединений. Проведено кинетическое моделирование конверсии газ-частица с целью прогнозирования состава органического атмосферного аэрозоля при наличии очагов горения для оценки возможного биологического действия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-77-20092).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ХВОИ И ИХ ПОСТУПЛЕНИЯ В ПОЛОГ ЗИМНЕГО ЛЕСА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ФОТОФОРЕЗА

Д.В. Симоненков¹, М.П. Тентюков^{1,2}, В.И. Михайлов³, Б.Д. Белан¹

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

²Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Россия

³Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

simon@iao.ru

Анализ результатов лазерной гранулометрии и УФ-спектров водных смывов разновозрастной хвои [1], дал предположение, что фенольные соединения, широко встречаясь в растительном мире (сейчас идентифицировано порядка сотни тысяч фенольных соединений, включая десятки тысяч флавоноидных структур растений), могут выступать прекурсорами органических аэрозолей.

В работе исследовалось частотное распределение по размерам аэрозольных частиц водных смывов листовой поверхности короткохвойных (ель сибирская, пихта европейская) и длиннохвойных (сосна сибирская, сосна обыкновенная) деревьев в пробах хвои, отобранных в период зимнего покоя растений (середина декабря, 2020 г.). Исследуемые виды хвойных деревьев доминируют в таежно-бореальной зоне Сибири и Европейского севера России.

Для характеристики размеров наночастиц в пробах использовали лазерный анализатор Zeta Sizer Nano ZS (Malvern Panalytical, GB), диапазон измерения 1–10000 нм. УФ-спектроскопию водных смывов хвои проводили спектрофотометром Solar PB2201 (ЗАО «СОЛАР», Беларусь).

Сравнение гранулометрических характеристик аэрозоля водных смывов разновозрастной хвои показало: если в летних пробах распределение частиц было бимодальное, диапазон размеров 50÷2000 нм, с преобладанием мелких частиц (91–96%) [1], то в зимних пробах – трехмодальное, с диапазоном 60÷7000 нм и преобладанием крупных частиц (3000÷7000 нм), доля которых достигает 50–74%.

Оценка активности эфлоресценции фенольных соединений на поверхности разновозрастной хвои в период зимнего покоя растений предполагает высокую вероятность образования вторичных органических аэрозолей в фотоактивированных реакциях фенольных соединений с осажденным аэрозольным веществом. При этом, фотофорез вторичных аэрозолей в поле уходящего с поверхности снежного покрова инфракрасного излучения («снеговой» фотофорез) может значительно усиливать их вертикальный перенос в пологе хвойного леса зимой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-45-700020.

1. Tentukov M.P., Mikhailov V.I., Timushev D.A., Simonenkov D.V., Belan B.D. Granulometric composition of settled aerosol material and ratio of phenolic compounds in different-age needles // Atmos. Ocean. Opt. 2021. V. 34, N 3. P. 222–228.

ГЕНЕРАЦИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И СТОК АЭРОЗОЛЯ

ВЛИЯНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ И ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА НА СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В МОСКВЕ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ

А.А. Виноградова, Д.П. Губанова, М.А. Иорданский

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

Обсуждаются возможные механизмы формирования дисперсного и элементного состава приземного аэрозоля в Москве в разные сезоны года – по данным интенсивного комплексного эксперимента по изучению состава и изменчивости атмосферного аэрозоля в 2020 г. [1] – с учетом распределения химических элементов по размерам аэрозольных частиц и вариаций метеопараметров. Основной акцент сделан на влияние природных факторов на концентрацию аэрозолей разных размеров и элементов различного генезиса. Оценены скорости убывания/нарастания концентрации частиц и отдельных элементов при росте влажности/давления городского воздуха. Обсуждаются сезонные вариации других метеорологических условий (температуры воздуха, скорости ветра, количества и качества осадков), а также качества подстилающей поверхности и растительности, влияющие и определяющие сезонные различия полученных оценок. Результаты исследования могут быть полезны при моделировании процессов преобразования и переноса аэрозоля в приземной атмосфере города.

1. Губанова Д.П., Виноградова А.А., Иорданский М.А., Скороход А.И. Временные вариации элементного состава атмосферного аэрозоля в Москве весной 2020 года // Изв. РАН. Физика атмосф. и океана. 2021. Т. 57, № 3. С. 334–348. DOI: 10.31857/S0002351521030056.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ НА ОСНОВЕ МИКРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ

И.Б. Коновалов¹, Н.А. Головушкин¹, В.Н. Ужegov², В.С. Козлов², П.Н. Зенкова², Вас.В. Польшкин²,
Д.Г. Чернов², В.П. Шмаргунов², С.А. Попова³, Е. Шишкин³

¹Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

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

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

konov@ipfran.ru

Экспериментальные исследования в аэрозольных камерах являются одним из важнейших источников информации об атмосферной эволюции микрофизических и оптических свойств аэрозолей различного происхождения, в том числе дымового аэрозоля, играющего значительную роль в климатообразующих процессах. В ИОА СО РАН такие исследования проводятся в Большой аэрозольной камере (БАК), крупные размеры которой позволяют изучать в ней многодневную динамику аэрозоля в контролируемых условиях, максимально приближенных к атмосферным.

В настоящей работе данные измерений в БАК, включая данные азталометрических и нефелометрических измерений аэрозольного поглощения и рассеяния, а также лабораторных измерений концентраций элементарного и органического углерода, с целью их интерпретации были сопоставлены с расчетами, выполненными на основе микрофизической динамической модели органического аэрозоля [1]. Указанная модель, выполненная кодом на основе теории Ми, позволяет рассчитывать динамику микрофизических и оптических свойств дымового аэрозоля с учетом основных процессов, определяющих эволюцию органической компоненты аэрозоля, таких как образование вторичного органического аэрозоля, испарение и конденсация первичных и вторичных полугетучих органических соединений. Выполненные расчеты позволили предложить объяснение ряду экспериментальных зависимостей, включая зависимости содержания коричневого углерода от начальной концентрации и возраста аэрозоля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-77-20109).

1. Kononov I.B., Beekmann M., Golovushkin N.A., Andreae M.O. // Atmos. Chem. Phys. 2019. V. 19. P. 12091–12119.

СУХОЕ ОСАЖДЕНИЕ НА СТАНЦИИ ИРКУТСК В 2020 г.

У.Г. Назарова

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

Прямые измерения сухих осадений чрезвычайно сложны и поэтому крайне немногочисленны. Ранее измерения сухих осадений были проведены на нескольких станциях в прибрежных районах Байкала в начале 1980-х гг. [Оболкин, Ходжер, 1990].

В июле 2020 г. на станции Иркутск возобновлены прямые измерения сухих осадений. Отбор проб осуществлялся в течение 24 ч. Полученный раствор фильтровали через мембранный фильтр, в фильтрате выполняли определение соединений биогенных элементов (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) и Si.

Исследования показали следующее. В теплое время года в составе сухих осадений были повышены фосфаты, особенно при низких скоростях ветра. В периоды снижения скоростей ветра и при длительных штилевых условиях, в составе сухих выпадений возрастали концентрации NH_4^+ . Повышение скорости ветра способствует росту концентраций кремния. В октябре средние концентрации NH_4^+ , по сравнению с августом, возросли в 3 раза, Si в 2 раза, в то время как концентрации PO_4^{3-} снизились в 3 раза. В дальнейшем планируется проведение более детального рассмотрения не только временной, но и пространственной динамики состава сухих осадений. Обобщение результатов было выполнено в рамках госзаданий ЛИН СО РАН (№ 0279-2021-0014).

1. *Оболкин В.А., Ходжер Т.В.* Годовое поступление из атмосферы сульфатов и минерального азота в регионе оз. Байкал // Метеорол. и гидрол. 1990. № 7. С. 71–6.

EVOLUTION OF ORGANIC AEROSOL AND ITS OPTICAL PROPERTIES IN SIBERIAN FIRE PLUMES

M. Beekmann¹, I.B. Kononov²

¹*Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA),
Université de Paris and Université Paris Est Creteil, CNRS, Creteil, France*

²*Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*
beekmann@lisa.ipsl.fr, konov@ipfran.ru

Siberian wildfires are an important source of aerosol particles affecting large parts of Russia and the Arctic. Biomass burning (BB) aerosol affects climate through scattering of solar radiation by organic matter, as well as through its absorption by black carbon and brown carbon, the latter defined as the absorbing part of organic aerosol. We present here comprehensive results about the evolution of organic aerosol that were obtained by analyzing satellite observed enhancement ratios of aerosol optical depth and aerosol absorption optical depth in fire plumes. These ratios provide information on the build-up of secondary organic aerosol (BB-SOA) within the fire plumes and its absorptive properties. The time evolution of these enhancements was analyzed with photochemical age tracers obtained from simulations with the CHIMERE chemistry-transport model. Major results obtained in this framework include quantification of the formation and probable subsequent loss of secondary organic aerosol due to functionalization and fragmentation reactions as well as volatilization of BB-SOA in diluting plumes. These processes are found to strongly affect the optical properties of organic BB aerosol.

The study was partially supported by the CNRS International Emerging Actions program N°304365 (project MERSI) and the Russian Foundation for Basic research (project N 21-55-15009).

ТИПИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ МЕТОДОМ К-СРЕДНИХ

Н.А. Баранов

Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, г. Москва, Россия
baranov@ians.aero

Динамика атмосферного аэрозоля во многом определяется температурной стратификацией атмосферы. Наличие инверсии определяется высотой задерживающего слоя, препятствующего рассеиванию примесей, а интенсивность инверсии влияет на время существования задерживающего слоя. Для оценки типовых условий температурной стратификации в настоящей работе рассматривается задача определения типовых профилей темпера-

туры в нижнем приземном слое атмосферы до высоты 1000 м. Решение задачи проводится на двух массивах данных наблюдений: в аэропорту Пулково (2018 г.) и аэропорт Новосибирска (2019–2020 гг.). Результаты измерений получены с использованием температурного профилемера МТР-5. Классификация проводится методом k -средних. Предварительно выполняется нормализация каждого измеренного профиля таким образом, что изменение значений вдоль нормированного профиля принадлежит диапазону [0, 1]. Количество классов было принято равным 7. В качестве метрики классификации рассматривалась евклидова норма в n -мерном пространстве, где n – количество точек, описывающих профиль температуры. Для каждого региона определены типовые профили для каждого класса и получены количественные оценки распределения типовых условий. Типизация для каждого региона имела свои особенности. Так, например, если для аэропорта Пулково примерно 40% температурных профилей имело адиабатический характер, то в аэропорту Новосибирска наблюдались только инверсные профили, и типизация касалась вида инверсии и ее интенсивности. Кроме того, для Новосибирска оказались характерными условия стратификации с двойной инверсией. При этом следует отметить, что классификация температурных условий 2019 и 2020 гг. для Новосибирска также имела определенные отличительные особенности.

ROLE OF SYNOPTIC METEOROLOGICAL CIRCULATION IN THE FORMATION OF DUST OUTBREAKS IN ARAL-CASPIAN SEA DEPRESSIONS/DESERTS: 7–9 SEPTEMBER 2021 CASE

A. Rashki¹, K. Mohammadpour^{1,2}, D.G. Kaskaoutis^{3,4}, D.V. Simonenkov⁵, K.A. Shukurov⁶

¹Department of Desert and Arid Zones Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Climate Modeling Laboratory, Department of Sustainability (SSPT-MET-CLIM), Italian National Agency for New Technologies Energy and Sustainable Development, ENEA, C.R. Casaccia, 00123 Rome, Italy

³Institute for Environmental Research and Sustainable Development, National Observatory of Athens, Palaia Penteli, 15236 Athens, Greece

⁴Environmental Chemical Processes Laboratory, Department of Chemistry, University of Crete, 70013 Crete, Greece

⁵V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

⁶A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia
a.rashki@um.ac.ir

In this study, daily aerosol optical depth (AOD) obtained from Terra-MODIS and meteorological fields from ERA-5 reanalysis are used to examine the dust outbreaks of 7–9 September 2021 in Central Asia, which resulted in high dust accumulation over the Karakum desert and northeast Iran. The most dust-affected area is defined using the highest AOD variances during the dust cases. The satellite data showed high AODs, with maximums on 8 September, indicating an intense dust plume from the Aral dried bottom toward the south affecting Turkmenistan, NE Iran, and Afghanistan. The results show that changes in the intensity and expansion of the Caspian Sea's high pressure modulate strong northerlies or northeasterlies over Central Asia, which are associated with anticyclonic dust storms over the desert areas (Aralkum, Karakum). On 7 September, the northwesterly and northerly winds over Central Asia dominated, but descending dynamic conditions behind the subtropical jet stream and the trough over the Russian Volga and Pre-Caspian regions at 500 and 700 hPa, created strong downdrafts and a strong anticyclonic flow responsible for dust emissions over Central Asia. In addition, on 9 September, the northerly winds over Central Asia dominated, but the decoration of the high-pressure, apart from intense values, allows them to traverse till the east coast of the Caspian Sea, where they converge the high dust accumulation over the Caspian Sea and central-east Turkmenistan. Furthermore, the upper-level subtropical jet stream moved eastward during the dust outbreaks, with core over east Kazakhstan in the highest outbreak of 8 September. These wind regimes diverge over the Karakum desert, facilitating dust accumulation over the area.

The reported study was funded by RFBR (Russia) and INSF (Iran), project N 20-55-56028 and 99003984, respectively.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ВОЗБУЖДЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ МОЛЕКУЛ ОН И ОД

О.Н. Сулакшина, Ю.Г. Борков

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

Проведено моделирование частот переходов двухатомных стабильных радикалов ОН и ОД в УФ-диапазоне для электронных систем $A^2\Sigma^+ - X^2\Pi$ и $B^2\Sigma^+ - X^2\Pi$. Для моделирования использовалась программа "SpecRad", созданная авторами. Молекулярные параметры «типа Данхэма» необходимые для расчета частот переходов были найдены путем обработки доступных экспериментальных данных в электронных переходах $A^2\Sigma - X^2\Pi$, $B^2\Sigma^+ - A^2\Sigma^+$, $A^2\Sigma^+ - A^2\Sigma^+$, $X^2\Pi - X^2\Pi$. Найденные параметры позволяют моделировать спектры указанных молекул в ультрафиолетовом диапазоне. Модельные спектры сравнивались с экспериментальными.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ ЧЕРЕЗ МОДЕЛЬНЫЙ ОГНЕННЫЙ СМЕРЧ

Р.Ш. Цвык, В.М. Сазанович, А.Н. Шестернин

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

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований флуктуаций направления фазового фронта 5 параллельных лазерных пучков, распространяющихся через пламя огненного смерча. Пучки формируются экраном с 5 отверстиями диаметром 2 мм с шагом 24 мм, установленном на пути лазерного параллельного пучка. Измерения выполнены 5 координатно-чувствительными фотоприемниками. Рассматриваются средние значения, дисперсии и временные частотные спектры флуктуаций направления фазового фронта и их зависимость от области пересечения пламени, отличия от результатов исследований выполненных с пучком близким к сферической волне и экраном, размещенным после распространения через пламя [1].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН

1. Сазанович В.М., Цвык Р.Ш., Шестернин А.Н. Распространение параллельных лазерных пучков через модельный огненный смерч // Оптика атмосф. и океана. Физика атмосферы [Электронный ресурс]: Матер. XXVII Междунар. симп. Томск, 6–10 июля 2020 г. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. В258–В261.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ТРОПОСФЕРЫ И ЛИТОСФЕРЫ

В.С. Захаренко¹, Е.Б. Дайбова²

¹*Новосибирский государственный университет, Россия*

²*Сибирский институт сельского хозяйства и торфа РАН, г. Томск, Россия
zakharenko05@mail.ru*

На ранней стадии формирования земной коры при высоких температуре и концентрации кислорода происходило окисление водорода (образование воды), металлов и кремния (образование оксидов металлов, диоксида кремния и силикатов), углерода (образование диоксида углерода). Далее земная кора стала остывать до той температуры, которую поддерживала энергия солнечного излучения. Формирование хранилищ веществ (газ, нефть, уголь), которые сейчас расходуются на производство энергии, происходило при поглощении солнечной энергии в медленном процессе фотосинтеза. «Жесткое» ультрафиолетовое излучение не проходит через атмосферу Земли из-за наличия озонового слоя. Однако после расходования кислорода на окисление и охлаждения земной коры часть «жесткого» ультрафиолетового излучения, не поглощенная водяным паром, достигала поверхности Земли, запустив реакции, которые в настоящее время не идут. Например, под действием такого «жесткого» ультрафиолетового излучения могло происходить образование кислорода в результате восстановления твердых кислородсодержащих соединений тропосферы и литосферы и заполнения атмосферы кислородом. В нашей работе получены предварительные результаты, свидетельствующие о протекании такого процесса.

МАТРИЦА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ДИНАМИКЕ ЛАВИН РЕЛЯТИВИСТСКИХ УБЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОНОВ

Е.М. Стадничук^{1,2}, Д.И. Землянская¹

¹Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет), Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

egor.stadnichuk@phystech.edu

Наличие крупномасштабных электрических поля в грозовых облаках приводит к образованию лавин релятивистских убегающих электронов (ЛРУЭ) [1–3]. Тормозное излучение ЛРУЭ приводит к таким природным явлениям как Thunderstorm Ground Enhancement (TGE) [4], gamma-ray glows и, предположительно, Terrestrial Gamma-ray Flashes (TGF) [5]. При больших величинах электрического поля возможно возникновение релятивистской обратной связи в динамике лавин (Relativistic Feedback Discharge Model, RFDМ) [2], что приводит к размножению ЛРУЭ и к быстрому экспоненциальному росту количества релятивистских частиц внутри грозового облака. В неоднородном электрическом поле, при полях меньших по величине по сравнению с RFDМ, за счет геометрии поля возникает реакторная обратная связь [6], аналогично приводящая к электромагнитному взрыву в Земной атмосфере. Для описания динамики реакторной обратной связи в настоящей работе предлагается метод, основанный на построении матрицы обратной связи. Эта матрица позволяет аналитически вычислить коэффициенты обратной связи, необходимые условия возникновения бесконечной обратной связи, а также диаграмму направленности гамма-излучения в реакторной модели. В настоящей работе рассматривается применение полученного метода к динамике лавин релятивистских убегающих электронов в грозовых облаках состоящих из нескольких зарядовых слоев. Полученные решения с хорошей точностью совпадают с результатами Монте-Карло моделирования с помощью библиотеки Geant4 [7].

Данная работа была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

1. Babich L.P. Relativistic runaway electron avalanche // Physics Uspekhi. 2020. V. 63, N 12. P. 1188–1218. DOI: 10.3367/ufne.2020.04.038747.
2. Dwyer J.R. Relativistic breakdown in planetary atmospheres // Physics of Plasmas. 2007. V. 14, N 4. P. 042901. DOI: 10.1063/1.2709652.
3. Gurevich A., Milikh G., Roussel-Dupre R. Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm // Phys. Lett. A. 1992. V. 165, N 5. P. 463–468.
4. Chilingarian A., Hovsepian G., Karapetyan T., Karapetyan G., Kozliner L., Mkrtchyan H., Sargsyan B. Structure of thunderstorm ground enhancements // Phys. Rev. D. 2020. V. 101. P. 122004. DOI: 10.1103/PhysRevD.101.122004.
5. Ostgaard N., Neubert T., Reglero V., Ullaland K., Yang S., Genov G., Alnussirat S. First 10 months of TGF observations by asim // J. Geophys. Res.: Atmos. 2019. V. 124, N 24. P. 14024–14036. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019JD031214>.
6. Stadnichuk E., Svechnikova E., Nozik A., Zemlianskaya D., Khamitov T., Zeleny M., Dolgonosov M. Relativistic runaway electron avalanches within complex thunderstorm electric field structures. 2021.
7. Agostinelli S. et al. Geant4 a simulation toolkit. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A // Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2003. V. 506, N 3. P. 250–303. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(03\)01368-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(03)01368-8).

ВЛИЯНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОВ НА ЛАВИНЫ РЕЛЯТИВИСТСКИХ УБЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОНОВ

Д.И. Землянская¹, Е.М. Стадничук^{1,2}, Е.К. Свечникова³

¹Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет), Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

³Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

zemlianskaya.d@phystech.edu

Немалый интерес для физики атмосферы представляет исследование физического явления, предложенного Гуревичем, лавинообразного размножения в веществе быстрых электронов, которое называют пробоем на убегающих электронах (ПУЭ).

Это повсеместно используется в анализе процессов в грозовых облаках. В основном, изучение этих явлений проводятся для однородных сред. Данная упрощенная модель не учитывает наличие множества аэрозолей и гидрометеоров в грозовых облаках. В работе были исследованы модели грозовых ячеек с учетом гидрометеоров. Были проведены симуляции в Geant4 для получения зависимости количества рожденных электронов, позитронов и гамма-квантов от массовой доли льда. Также была рассмотрена ситуация с наличием поля и без.

Замечено существенное различие в количествах и энергиях рожденных частиц с увеличением доли гидрометеоров в эксперименте.

Данное наблюдение позволяет скорректировать последующие и имеющиеся теории формирования TGF и других процессов в физики грозových облаков.

1. Гуревич А.В., Зыбин К.П. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы // Успехи физ. наук. 2001. Т. 117, № 11. С. 1177–1198.
2. Dwyer J., Babich L. Low-energy electron production by relativistic runaway electron avalanches in air // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. P. 1–14.
3. Allison J. et al. Recent developments in Geant4 / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A // Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. 2016. V. 835. P. 186–225.
4. Dwyer J., Babich L. Low-energy electron production by relativistic runaway electron avalanches in air // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. P. 1–14.
5. Yong Han, Hao Luo, Yonghua Wu, Yijun Zhang, Wenjie Dong. Cloud ice fraction governs lightning rate at a global scale // Communications Earth & Environment. 2021. V. 2. Article number: 157.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТОДОМ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

И.А. Ботыгин^{1,2}, В.А. Тартаковский², В.С. Шерстнёв¹, А.И. Шерстнёва¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
bia@tpu.ru

Представлена декомпозиция, реконструкция и прогнозирование температурных временных рядов приземной атмосферы с использованием коллекции непараметрических методов для сингулярного спектрального анализа (Singular Spectrum Analysis, SSA) языка статистического моделирования R. Метод SSA обеспечивает разложение временного ряда на интерпретируемые аддитивные составляющие [1]. При этом не требуется обеспечение стационарности и предварительного задания модели ряда. Но даже с такими условиями, метод SSA позволяет решать задачи, связанные с выделением тренда, обнаружением периодичной составляющей, сглаживанием ряда.

Практические эксперименты были проведены на метеорологических данных, полученных с ультразвуковой метеостанции № 167 с координатами (56,48° с.ш., 85,05° в.д.) [2]. Полные данные содержат 362516 значений по 17 параметрам (общий объем равен 6162772 значениям). Временные ряды формировались с различным шагом дискретизации для того, чтобы изучить работу метода SSA на данных разного объема, но за одинаковый период наблюдения. Показано, что разложение метеорологического ряда наблюдений на главные компоненты предоставляет неограниченные возможности по их группировке, в частности, с целью выделения тренда, сезонности, шума и исследования остаточного ряда.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-47-700005p_a.

1. Wolfowitz J. // Ann. Math. Statist. 1942. V. 13, N 3. P. 247–279. DOI: 10.1214/aoms/1177731566. URL: <https://projecteuclid.org/euclid.aoms/1177731566> (accessed: 24.01.2021).

2. Система климатического мониторинга. URL: <http://mon.imces.ru/> (дата обращения: 14.04.2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ АНАЛИЗА НЕЛИНЕЙНЫХ И ХАОТИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

И.А. Ботыгин^{1,2}, В.А. Тартаковский², В.С. Шерстнёв¹, А.И. Шерстнёва¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
bia@tpu.ru

В настоящее время исследования хаотического поведения процессов временных рядов достаточно актуальны. Не исключением являются и метеорологические ряды, в которых хаос является основной причиной их непредсказуемости, особенно на больших временных промежутках [1–3].

В работе представлено использование пакета fNonlinear языка R для исследования различных аспектов одномерных временных рядов и их хаотического поведения, а также для моделирования разнообразных типов хаотических временных рядов. В частности, исследовались функции для симулирования различных типов хаотических отображений, функции для исследования хаотического поведения временных рядов, функции для тестирования различных аспектов одномерных временных рядов, включая независимость и пренебрегаемые нелинейности.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-47-700005p_a.

1. Ouyang T., Huang H., He Y., Tang Z. Chaotic wind power time series prediction via switching data-driven modes // Renewable Energy. 2020. V. 145. P. 270–281.

2. Zhang X., Brown M. Detecting change-point, trend, and seasonality in satellite time series data to track abrupt changes and nonlinear dynamics: A Bayesian ensemble algorithm // Remote Sensing of Environment. 2019. V. 232. P. 111181.

3. Adewole A.T., Falayi E.O., Roy-Layinde T.O., Adelaja A.D. Chaotic time series analysis of meteorological parameters in some selected stations in Nigeria // Scientific African. 2020. V. 10. P. e00617.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

И.А. Ботыгин^{1,2}, В.А. Тартаковский², В.С. Шерстнёв¹, А.И. Шерстнёва¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
bia@tpu.ru

Представлена разработка рекуррентной нейронной сети с долгой краткосрочной памятью и исследование ее возможностей по прогнозированию временных рядов на примере различных метеорологических параметров. Основным источником данных для обучения и анализа способности к прогнозированию временных рядов использовался портал Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, предоставляющий различные метеорологические и радиационные данные по Томской области [1].

Выбор оптимальной архитектуры нейронной сети производился исходя из экспериментов. Осуществлялось варьирование таких параметров нейронной сети как количество нейронов в скрытых слоях, количество скрытых слоев (глубина сети), количество эпох обучения, размер мини-выборки. Была разработана структурная схема базовой модели нейронной сети, которая включала в себя все необходимые компоненты. Для тестирования эффективности прогнозирования сети использовалась выборка измерений температуры окружающей среды общим объемом в шестьсот измерений, произведенных через каждые 45 мин в промежутке с 01.01.2018 г. по 20.01.2018 г. Для оценки точности прогнозирования было использовано среднеквадратичное отклонение. При обучении использовались два оптимизатора – стохастический оптимизатор градиентного спуска SGD и адаптивная оценка момента Adam. Были реализованы различные виды моделей для прогнозирования и проведены эксперименты для оценки их эффективности. Выявлены наиболее оптимальные параметры рекуррентной нейросетевой модели для применения в задаче прогнозирования метеорологических рядов наблюдений.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-47-700005р_а.

1. Система климатического мониторинга. URL: <http://mon.imces.ru/> (дата обращения: 10.01.2021).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИНИЙ H_2^{15}O . ВОЗМОЖНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Б.А. Воронин¹, М.В. Макарова²

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

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Петергоф, Россия
vba@iao.ru, zaits@troll.phys.spbu.ru

Представлены расчеты колебательно-вращательных уровней энергии, центров и интенсивностей линий поглощения радиоактивного изотополога водяного пара H_2^{15}O . Период полураспада изотопа ^{15}O чуть более 2 мин, что ограничивает возможности измерений спектров. Вместе с тем, спектры этой нестабильной изотопной модификации воды могут оказаться полезными для ряда приложений в медицине, биологии и исследования такого опасного атмосферного явления, как гроза. Источником изотопа ^{15}O в атмосфере Земли являются грозы и жесткое солнечное гамма излучение.

Расчет выполнен вариационным методом DVR3D на основе высокоточного потенциала Бубукиной и др. (Бубукина и др. *ОиС*, 2011) и поверхности дипольного момента Л. Лоди и др. (Lodi L. et al., *JCP*, 2011). Вычисления проведены на кластере “amun” университетского колледжа Лондона (UCL).

Для поиска линий поглощения H_2^{15}O в атмосфере был использован архив ИК-спектров прямого солнечного излучения, зарегистрированных с использованием Фурье-спектрометра высокого спектрального разрешения Bruker IFS 125HR на ст. St. Petersburg (СПбГУ, NDACC). Спектральное разрешение большинства из регистрируемых атмосферных спектров составляет $0,005 \text{ см}^{-1}$, также использовались архивные данные о грозах очагах, наблюдавшихся в Санкт-Петербурге и его окрестностях с 2011 по 2020 г. (<http://meteo-center.asia/ts.php?Mon=07&Year=2014&p=26063>). Для анализа было использовано около 5000 спектров, которые были разделены на грозовые и не грозовые. Выбраны перспективные частоты для обнаружения радиоактивного изотополога H_2^{15}O .

В итоге, на частоте $1973,5 \text{ см}^{-1}$ ($\sim 5,06 \text{ мкм}$), соответствующей переходу $(0\ 1\ 0) [7\ 5\ 2] \leftarrow (0\ 0\ 0) [6\ 4\ 3]$ H_2^{15}O с интенсивностью $\sim 7 \cdot 10^{-21} \text{ см}^2/\text{молек}$. было обнаружено поглощение, не объясняемое поглощением другими атмосферными молекулами.

Проведенный нами анализ не позволяет сделать однозначный вывод о том, что поглощение в указанной области обусловлено наличием спектральной линии изотополога H_2^{15}O с центром $5,06708099$ мкм ($1973,522827$ см⁻¹). Однако спектральный диапазон $1973,490$ – $1973,565$ см⁻¹ является перспективным для проведения дальнейших исследований в данном направлении.

Авторы выражают благодарность проф. Дж. Теннисону и А.Д. Быкову за полезные консультации и помощь в расчетах и А.В. Поберовскому за предоставленные экспериментальные данные.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ АТМОСФЕРНЫХ ЦИРКУЛЯЦИЙ И ПЕРЕНОСА ТРАССЕРА НАД ТЕРРИТОРИЕЙ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Э.А. Пьянова, В.В. Пененко

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

Представлены результаты сценарного моделирования различных вариантов развития атмосферных циркуляций в Байкальском регионе. В условиях сформировавшихся ветровых движений рассмотрены процессы переноса и рассеяния пассивных примесей от высоких точечных источников. Модельные источники имитируют выбросы от крупных предприятий промышленных центров региона и от природных пожаров. 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) и при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 20-01-00560) в части реализации специальных сценариев для решения задач продолжения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОГРАФА СТОКА И АНАЛИЗ СОВМЕСТИМОСТИ ТЕНДЕНЦИЙ ОСАДКОВ И СТОКА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ЛЕНЫ

А.И. Крылова¹, Н.А. Лаптева²

*¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
²ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия
lapteva@vector.nsc.ru*

Приводятся результаты расчетов гидрографа по климатической модели речного стока для гидрологических районов реки Лены с синхронными колебаниями стока. Эти районы выделены по режиму стока и характеру его межгодовой изменчивости: бассейн р. Вилюй, водосборный бассейн верхней части р. Лена, бассейн р. Алдан. Метеорологическая информация, используемая в работе, представляет собой данные реанализа MERRA за период с 1980–2011 гг. Гидрологические данные о расходах воды взяты из базы данных R-ArcticNet. На данных реанализа MERRA проводится анализ многолетних изменений компонент водного баланса р. Лена и их динамики в условиях меняющегося климата. Анализ осадков, испарения применяется для понимания механизмов, приводящих к увеличению годового стока.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-05-00241) и государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект № 0215-2021-003).

АНАЛИЗ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ И НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ «ПРИПОДНЯТОЙ» ИНВЕРСИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

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

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

Обсуждаются результаты анализа разности температур между верхней границей «приподнятой» инверсии температуры (T_h) и непосредственно вблизи подстилающей поверхности (T_0). Основным вопросом заключался в том, в каких случаях возможна реализация неравенства $(T_0 - T_h) > 0$, т.е. когда температура вблизи подстилающей поверхности превышает температуру на верхней границе «приподнятой» инверсии? Эта информация может быть полезна при изучении и моделировании процессов разрушения инверсий температуры в различные сезоны года. Для анализа использовались результаты измерений профилей температуры воздуха в диапазоне высот 0–1000 м микроволновым температурным профиломером МТР-5 в пункте «Базовый экспериментальный комплекс» ИОА СО РАН за период 2020–2021 гг.

ПРЕСПЕКТИВНЫЕ ДИАПАЗОНЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НТ¹⁶O В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Б.А. Воронин, Т.Ю. Чеснокова, Ю.В. Гриднев, Г.А. Колотков

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

Существующие методы определения концентрации трития в воде и воздухе сводятся к забору проб, а это требует значительного времени и ресурсов. Тритий, попадающий в атмосферу в виде НТ, менее токсичен и подвижен, чем НТО, но в последующем, через довольно короткий период времени, весь тритий переходит в окись трития и активно замещает стабильный водород в молекулах воды [1].

Утечки и технологические сбросы тяжелой воды бывают преимущественно в реки, озера, но также выбрасывается и в атмосферу предприятиями ядерно-топливного цикла (ЯТЦ). Причем величина отличается от допустимых местами (в зависимости от предприятия) на один порядок [2, 3].

Из изотопологов водяного пара, содержащих тритий (Т), максимальное натуральное содержание имеет НТ¹⁶O, которого на много порядков больше, чем у других изотопологов, таких как Т₂¹⁶O, DT¹⁶O, Т₂¹⁸O и пр. Источников в атмосфере НТ¹⁶O основных 2 – это жесткое солнечное излучение на верхней границе атмосферы и ядерные взрывы или аварии. Период полураспада трития – более 12 лет.

Спектр НТ¹⁶O был рассчитан С.А. Ташкуном в 2008 г. с помощью программы Д. Швенке [4, 5]. Качество расчета НТ¹⁶O было подтверждено в работе [6], когда была выполнена идентификация спектра в диапазоне 7200–7245 см⁻¹. По таблице 3 для полосы 2ν₃ в [6] можно оценить, что среднее значение разницы 83 экспериментальных и расчетных переходов составляет 0,144 см⁻¹, тогда как с расчетом С.А. Ташкуна разница в 2 раза меньше – только 0,071 см⁻¹. Дисперсия же одного порядка. Аналогичная картина наблюдается и для других полос. В 2019 г. вышла работа [7], где проведена идентификация спектра тритиевой воды в диапазоне около 3,8 мкм.

Для проведения атмосферных расчетов спектр НТ¹⁶O был дополнен параметрами контура линии, которые использовались для оценок HD¹⁶O [8].

На основе теоретических данных по линиям поглощения НТ¹⁶O определены спектральные диапазоны, в которых вклад трития в атмосферное поглощение наиболее заметен. Сделаны оценки порогового значения содержания трития в атмосфере, которое может быть детектировано спектроскопическими методами.

Авторы выражают благодарность проф. А.Д. Быкову за полезные консультации и С.А. Ташкуну за теоретический расчет.

1. URL: <https://ru-ecology.info/term/19553/>
2. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2020 г. / Ежегодник НПО «Тайфун». Обнинск, 2021. 338 с.
3. URL: https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/187/ezhegodnik_ro_2020.pdf
4. URL: <https://spectra.iao.ru/molecules>
5. Михайленко С.Н., Бабилов Ю.Л., Головки В.Ф. Информационно-вычислительная система «Спектроскопия атмосферных газов». Структура и основные функции // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 9. С. 765–776.

6. Down M.J., Tennyson J., Hara M., Hatano Y., Kobayashi K. Analysis of a tritium enhanced water spectrum between 7200 and 7245 cm^{-1} using new variational calculations // J. Mol. Spectrosc. 2013. V. 289. P. 35–40.
7. Reinking J., Schlösser M., Hase F., Orphal J. First high-resolution spectrum and line-by-line analysis of the $2\nu_2$ band of HTO around 3.8 microns // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2019. V. 230. P. 61–64.
8. Voronin B.A., Lavrentieva N.N., Mishina T.P., Chesnokova T.Yu., Barber M.J., Tennyson J. Estimate of the $J' J''$ dependence of water vapor line broadening parameters // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2010. V. 111, N 15, P. 2308–2314.

БАЙКАЛЬСКИЕ ВЕТРЫ: ИХ РОЛЬ В ГИДРОДИНАМИКЕ ВОД И РАСПРОСТРАНЕНИИ ПРИМЕСЕЙ

Е.А. Цветова

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

При моделировании природных процессов приходится учитывать значительно число параметров, влияющих на эти процессы. Так, гидродинамические процессы, протекающие в толще воды оз. Байкал, находятся под большим влиянием внешних воздействий. Одним из самых значительных из них является ветер. Про Байкальские ветры известно достаточно много; некоторые из них даже имеют специальные названия, например, Сарма, Баргузин, Култук, Шелоник и др. В научном плане они типизированы [1].

В сценарных расчетах анализируется пространственно-временная изменчивость системы течений и областей распространения примесей от заданных источников, получающаяся под действием различных ветров на поверхности озера. Изучается трехмерная горизонтально-вертикальная динамическая структура полей течений, температуры и концентрации примесей. Моделирование выполняется на основе трехмерной нестационарной негидростатической модели озера и модели переноса примесей, разработанных автором.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИВМиМГ СО РАН (№ 0251-2021-0003) в части создания новой версии моделей и при поддержке проекта РФФИ (№ 20-01-00560) при выполнении специальных сценариев.

1. Атлас волнения и ветра озера Байкал / под ред. Г.В. Ржеплинского, А.И. Сорокиной. Л.: Гидрометеиздат, 1977.

ВАРИАЦИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

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

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

Проведен анализ «перемежаемости знаков» вертикального турбулентного потока тепла в приземном слое атмосферы при различных типах стратификации в различные сезоны года и в различное время суток. Рассмотрена взаимосвязь этого эффекта со средними значениями метеорологических величин и с их турбулентными составляющими. Оценено влияние на «перемежаемость» длительности интервалов обработки, по которым рассчитывались потоки тепла и другие, использованные при анализе величины. Для анализа использовались результаты измерений метеорологических величин ультразвуковыми анемометрами-термометрами «Метео-2» и микроволновыми температурными профиломерами МТР-5.

ВКЛАД КОНТИНУАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ H_2O В ВОСХОДЯЩИЕ И НИСХОДЯЩИЕ ПОТОКИ ДЛИННОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОКНАХ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ

К.М. Фирсов¹, Т.Ю. Чеснокова², А.А. Антонов¹

¹Волгоградский государственный университет, Россия

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

В настоящее время глобальное изменение климата связывают с изменениями концентрации парниковых газов и аэрозоля. Современные радиационные блоки климатических моделей, описывающие взаимодействие электромагнитного излучения с газовой-аэрозольной атмосферой, обеспечивают достаточно высокую точность расчетов. Однако в окнах прозрачности атмосферы наблюдаются значительные неопределенности при расчете потоков и притоков излучения. Причиной этого является неопределенности в континуальном поглощении парами воды.

В работе представлен радиационный блок для расчета длинноволновых восходящих и нисходящих потоков радиации, а также скорости радиационного выхолаживания атмосферы на произвольных уровнях по высоте. Расчет производится в тепловом диапазоне спектра от 0 до 3000 см^{-1} со спектральным разрешением 20 см^{-1} для атмосферных высот от 0 до 100 км для произвольных метеорологических условий. Данный радиационный блок включает три модели континуального поглощения. Модель MT_CKD3.3 применима во всем рассматриваемом интервале. Модель SCAVIAR применима для окна 3–5 мкм, а третья модель, полученная нами на основе экспериментальных данных Ю. Баранова, применима для окон прозрачности 3–5 и 8–12 мкм.

В данной работе будут приведены результаты расчетов восходящих и нисходящих потоков излучения для различных метеорологических условий и различных моделей континуума водяного пара.

1. Mlawer E.J., Payne V.H., Moncet J.-L., Delamere J.S., Alvarado M.J., Tobin D.C. Development and recent evaluation of the MT_CKD model of continuum absorption // Phil. Trans. R. Soc. A. 2012. V. 370. P. 2520–2556.
2. Ptashnik I.V., McPheat R.A., Shine K.P., Smith K.P., Williams R.G. Water vapor self-continuum absorption in near-infrared windows derived from laboratory measurements // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. P. D16305.
3. Baranov Yu.I., Lafferty W.J., Ma Q., Tipping R.H. Water-vapor continuum absorption in the $800\text{--}1250\text{ см}^{-1}$ spectral region at temperatures from 311 to 363 K // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2008. V. 109. P. 2291–2302.

ВЫСОТА СЛОЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИНВЕРСИЙ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ: МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

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

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

Рассмотрены результаты расчетов высоты слоя перемешивания H_{mix} по нескольким моделям на основе эмпирических данных о метеорологических величинах, полученных средствами локальной и дистанционной диагностики пограничного слоя атмосферы (ПСА). Основное внимание было уделено случаям с инверсиями температуры в ПСА как в теплый, так и в холодный периоды года. Проведено сравнение модельных оценок величин H_{mix} с эмпирическими данными о высоте H_m слоя интенсивного турбулентного теплообмена (слоя с повышенной дисперсией температуры воздуха), полученными с использованием акустического метеорологического локатора (содара).

ВЗАИМОСВЯЗЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ АТМОСФЕРЫ

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

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

Проведен анализ взаимосвязи вертикального (Q_z) и горизонтального (Q_u) турбулентного потока тепла в приземном слое атмосферы. Основной задачей являлась оценка этих взаимосвязей при устойчивой стратификации приземного слоя. Рассмотрена взаимосвязь, как непосредственно измеренных (вычисленных) значений Q_z и Q_u , так и их представлений через дисперсии температуры и компонентов вектора ветра с учетом масштаба температуры и скорости трения. Для анализа использовались результаты измерений метеорологических величин ультразвуковыми анемометрами-термометрами «Метео-2».

ВАРИАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ АТМОСФЕРЫ В ПЕРИОДЫ ОСАДКОВ

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

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

Представлены результаты исследования вариаций интегрального влагосодержания атмосферы в периоды осадков. Проанализированы измерения сети приемников спутниковых навигационных систем в окрестности г. Казань, данные метеостанций и реанализа ERA5. Исследуется состояние атмосферы с помощью дистанционного зондирования в основе которого лежит оценка зенитной тропосферной задержки электромагнитных волн, излучаемых спутником. Построены ряды интегрального влагосодержания атмосферы по наблюдениям ГНСС-приемника сети станций атмосферного мониторинга в окрестностях г. Казани в разные сезоны за 2018–2020 гг. Вариации интегрального влагосодержания атмосферы сравниваются с полями осадков реанализа ERA5 за те же сезоны и данными метеонаблюдений. Обнаружена когерентность поля интегрального влагосодержания атмосферы с полем осадков. ГНСС-зондирование атмосферы выполнено за счет субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ЛЕСНОГО МАССИВА

М.С. Юдин

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

Схема параметризации, предложенная Шиллингом [1], для описания воздействия высокого лесного покрова на структуру атмосферного пограничного слоя используется в расчетах негидростатической атмосферной модели основанной на конечных элементах [2, 3]. Основным преимуществом схемы является то, что динамические и термодинамические эффекты лесного покрова могут быть удовлетворительно моделированы, используя грубое разрешение в численной модели. Это позволяет очень экономичным образом изучать метеорологические эффекты в лесном массиве. Применимость этого подхода в численных моделях показана с помощью двумерной модели конечных элементов для сжимаемой атмосферы.

Область моделирования представляет собой холм, равномерно покрытый однородным лесным массивом состоящим из хвойных деревьев высотой порядка 20 м. Результаты моделирования удовлетворительно воспроизводят известные метеорологические явления в лесных районах, например, устойчивую стратификацию температуры вблизи поверхности в течение дня, нейтральное или слегка неустойчивое состояние в ночное время и, в целом, уменьшение ветра в лесном покрове.

Работа выполнена при поддержке ИВММГ (государственное задание № 0251-2021-0003, проведение вычислительных экспериментов) и РФФИ (грант № 17-01-00137, разработка численных методов).

1. Schilling V.K. A parameterization for modelling the meteorological effects of tall forests – A case study of a large clearing // Bound.-Layer Meteorol. 1991. V. 55. P. 283–304. DOI: org/10.1007/BF00122581.
2. Yudin M.S. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2017. V. 96. 012002.
3. Yudin M.S., Wilderotter K. Simulating Atmospheric Flows in the Vicinity of a Water Basin Computational Technologies. 2006. V. 11. P. 128–134.

ОСОБЕННОСТИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕНОСА ИМПУЛЬСА И ТЕПЛА В УСТОЙЧИВОМ АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ НАД ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Л.И. Курбацкая

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

В атмосферном пограничном слое идентифицируются два типа вертикальной структуры турбулентности. Один из них, «традиционный» пограничный слой, в котором турбулентность генерируется вблизи поверхности и транспортируется по направлению вверх, в контрасте со вторым типом, где турбулентность транспортируется вниз из главного источника, расположенного наверху в пограничном слое. Последний был назван как «перевернутый обратный пограничный слой» [1]. В этом случае турбулентность может «извергаться» вниз, по направлению к поверхности, как случайный процесс. Ряд структурных особенностей горизонтально-однородного устойчивого атмосферного пограничного слоя выявлен путем анализа базы данных, полученных в исследовательских проектах, таких, как например, проект CASES-99 (Cooperative Atmosphere-Surface Exchange Study 1999 campaign).

В настоящем исследовании мезомасштабное моделирование эволюции атмосферного пограничного слоя над термически неоднородной поверхностью с крупномасштабной аэродинамической шероховатостью выполнено с помощью улучшенной модели турбулентности, в которой аккуратно учитывается воздействие эффектов плавучести (термической стратификации среды) на процессы турбулентного переноса [2]. Полученные вертикальные профили скорости, температуры и турбулентных величин в устойчиво стратифицированном пограничном слое анализируются для выяснения возможностей модели воспроизводить крупномасштабные атмосферные эффекты, которые оказывают влияние на перенос импульса, тепла и вещества в пограничном слое над урбанизированными поверхностями.

Исследование в части развития базовых математических моделей выполнено в рамках государственного задания ИВМиГ СО РАН (№ 0251-2021-0003), проведение численных экспериментов в устойчиво стратифицированном пограничном слое атмосферы частично выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-01-00560А.)

1. Mahrt L., Vickers D. // Bound.-Layer Meteor. 2002. V. 105. P. 351–362.
2. Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л.И. // Теплофизика и аэромеханика. 2019. Т. 26, № 3. С. 363–380.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ИНДИКАТРИС РАССЕЯНИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ НОРМАЛЬНЫХ И БИНОРМАЛЬНЫХ СПЕКТРОВ ВОДЯНЫХ КАПЕЛЬ

А.В. Заковряшин

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
andrey.z.1933@mail.ru*

С помощью разработанного программного обеспечения для расчета индикатрис рассеяния оптического излучения для полидисперсных сред, состоящих из сферических частиц, и компьютерной визуализации оптических явлений с учетом многократного рассеяния [1] вычисляются индикатрисы рассеяния для нормальных и бинормальных распределений радиуса капель с различными средними значениями и дисперсиями. На основе вычисленных индикатрис рассеяния получены изображения глорий, белых радуг и венцов, оценены угловые радиусы глорий и белых радуг. Алгоритм расчета индикатрис рассеяния основан на алгоритме У. Вискомба

с использованием теории Ми [2]. Для увеличения скорости расчета индикатрис рассеяния используется прием интерполяции, позволяющий значительно ускорить время интегрирования по радиусу рассеивающих частиц без существенной потери точности и предотвратить возникновение стохастических осцилляций. Для моделирования многократного рассеяния излучения используется метод Монте-Карло [3].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-90104.

1. *Zakovryashin A.V., Prigarin S.M.* Software for phase functions fast computation and optical phenomena visualization in water-drop atmospheric clouds. [Электронный ресурс]. URL: <https://sites.google.com/view/avzakovryashin> (дата обращения: 01.09.2021).
2. *Wiscombe W.* Improved Mie scattering algorithms // *Appl. Opt.* 1980. V. 19, N 9. P. 1505–1509.
3. *Marchuk G.I., Mikhailov G.A., Nazaraliev M.A., Darbinian R.A., Kargin B.A., Elepov B.S.* Monte Carlo methods in atmospheric optics. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1989.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО РАДИАЦИОННОГО ПЕРЕНОСА В УФ-ДИАПАЗОНЕ С УЧЕТОМ НОВЫХ ДАННЫХ ПО ЛИНИЯМ ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА

Т.Ю. Чеснокова¹, Б.А. Воронин¹, А.В. Ченцов¹, С.Н. Юрченко²

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

²*Department of Physics and Astronomy, University College London, Gower St., London WC1E 6BT, UK
ches@iao.ru, vba@iao.ru, cav@iao.ru, s.yurchenko@ucl.ac.uk*

Измерения спектра поглощения водяного пара в УФ-области затруднительны из-за малой интенсивности линий. В настоящее время получено мало данных по сечениям поглощения водяного пара в УФ-диапазоне, и они достаточно противоречивы, имеют разный спектральный ход и могут отличаться более чем на порядок. Наиболее полным теоретическим списком линий поглощения водяного пара в УФ-диапазоне является расчет РОКАЗАТЕЛ [1], в котором содержатся линии H₂O до энергии диссоциации 0,25 мкм. В прошлом году появился новый расчет РОКАЗАТЕЛ* [2], оптимизированный для УФ-диапазона.

Проведено моделирование атмосферного переноса солнечного излучения с учетом многократного рассеяния и поглощения в УФ-диапазоне с использованием линий H₂O из расчетов РОКАЗАТЕЛ и РОКАЗАТЕЛ*. Для моделирования атмосферного пропускания уточнены параметры уширения линий поглощения в УФ-диапазоне. Сделаны оценки влияния обрезки по интенсивности линий H₂O и угловому моменту J на вычисление атмосферного пропускания.

1. *Polyansky O.L., Kyuberis A.A., Zobov N.F., Tennyson J., Yurchenko S.N., Lodi L.* ExoMol molecular line lists XXX: A complete high-accuracy line list for water // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2018. V. 480, N 2. P. 2597–2608.
2. *Conway E.K., Gordon I.E., Tennyson J., Polyansky O.L., Yurchenko S.N., Chance K.* A semi-empirical potential energy surface and line list for H₂¹⁶O extending into the near-ultraviolet // *Atmos. Chem. Phys.* 2020. V. 20. P. 10015–10027.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРА ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИВНЕЙ ПО ДАННЫМ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Г.А. Яковлев¹, А.А. Кобзев²

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

²*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
yakovlev-grisha@mail.ru*

Оценка интенсивности и других характеристик атмосферных осадков по динамике мощности дозы гамма-излучения является достаточно непростой задачей. Многочисленные исследования показали, что знание только одной мощности дозы гамма-излучения в данной задаче не достаточно. Одним из ключевых параметров является суммарная объемная активность радона и короткоживущих продуктов его распада в атмосфере, которые зависят от плотности потока радона с поверхности грунта и погодных условий. Также необходимо учитывать очищение атмосферы от радиоактивных аэрозолей в периоды осадков. При длительных многочасовых либо частых осадках атмосфера постепенно очищается, следовательно, с течением времени снижается количество осаждаемых продуктов распада радона. Кроме этого, необходимо учитывать радиоактивный распад радионуклидов, находящихся в атмосфере, и осаждаемых на земную поверхность.

Исследованы особенности реакции атмосферного γ -фона на дождевые осадки, проявляющиеся в виде всплесков. Описаны результаты расшифровки различных форм отклика измеренного γ -фона с определением времени начала и окончания выпадения осадков, отличительные признаки изменения интенсивности осадков и количества одиночных (отдельных) событий, формирующих один всплеск.

Разработан метод оценки средних за одно событие значений интенсивности и количества осадков по γ -фону, который учитывает радиоактивный распад продуктов распада радона в атмосфере и на земной поверхности в период осадков, а также очищение атмосферы от радионуклидов. Даны рекомендации по использованию в разработанном методе поправки на изменение (суточные вариации) плотности потока радона с поверхности грунта, которые приводят к вариациям радона в атмосфере. Разработана методика определения спектра интенсивности ливневых осадков. По результатам исследования получено хорошее согласие рассчитанных и измененных с помощью челночного и оптического осадкомеров средних за одно событие значений интенсивности и количества жидких атмосферных осадков.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАДИОАКТИВНОЕ РАВНОВЕСИЕ МЕЖДУ ДОЧЕРНИМИ ПРОДУКТАМИ РАСПАДА РАДОНА В ДОЖДЕВОЙ ВОДЕ

Г.А. Яковлев¹, А.С. Зелинский²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
yakovlev-grisha@mail.ru

Радон и его предшественники это природные радиоактивные нуклиды, встречающиеся в атмосфере по всему земному шару. Изотоп радона ^{222}Rn образуется в цепочках распада первичного ^{238}U содержащегося в земной коре. Интенсивность выхода ^{222}Rn зависит от геофизических особенностей верхнего слоя почвы. После выделения из земли радон, будучи инертным газом, легко рассеивается, не вступая во взаимодействие с аэрозолями атмосферы. Дочерние продукты распада (ДПР) радона ^{214}Pb и ^{214}Bi , за счет значительного периода полураспада по сравнению с другими радионуклидами радонового семейства, существуют в атмосфере более продолжительное время, за которое могут связываться с крупными взвешьями – аэрозолями пыли и воды.

Одним из недостаточно проработанных вопросов является состояние радиоактивного равновесия между дочерними продуктами распада радона в атмосфере до высоты нижней границы облаков. Неравновесное нахождение изотопов ^{214}Bi и ^{214}Pb в атмосфере, и, в последствии в дождевой воде, может приводить к большим погрешностям при гамма-спектрометрическом анализе дождевой воды.

Целью данной работы являлось изучение влияния турбулентного перемешивания и восходящих потоков воздуха на соотношение активностей между дочерними продуктами распада радона в дождевой воде. Обнаружено, что с ростом интенсивности дождя должно происходить смещение радиоактивного равновесия между ДПР в дождевой воде за счет увеличения скорости восходящего потока воздуха.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА РОСТА МОЩНОСТИ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЕРИОДЫ ОСАДКОВ В Geant4

Г.А. Яковлев

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
yakovlev-grisha@mail.ru

Представлены результаты моделирования плотности потока бета-частиц и мощности дозы гамма-излучения, создаваемых в воздухе на различном расстоянии от земной поверхности радионуклидами (дочерними продуктами распада радона и торона) с единичной активностью, осажденные ливнями на земную поверхность. Моделирование производилось с использованием инструментария Geant4, основанного на методе Монте-Карло.

В качестве основы был использован модифицированный стандартный пакет с библиотеками данных о ядерно-физических характеристиках радионуклидов, видах и процессах взаимодействия ионизирующего излучения с веществом. Расчеты производили в цилиндрической геометрии. При расчетах были исследованы такие среды как вода, грунт и воздух, которые представляли собой источник излучения. В качестве поглотителя и детектора использовались воздушные слои переменной толщины. При моделировании учитывали диапазон регистрируемых детекторами регистрируемых энергий.

Получено, что коэффициенты пересчета из активности радионуклидов в мощность дозы гамма-излучения зависят от высоты установки детектора, элементного состава и плотности атмосферы. Полученные коэффициенты могут быть использованы для решения как прямых, так и обратных задач по восстановлению радиационного фона во время осадков, либо для определения интенсивности и количества осадков по γ -фону.

ДИНАМИКА ИЗОТОПОВ РАДОНА, ПОЛОНИЯ, СВИНЦА И ВИСМУТА В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В ПЕРИОДЫ ЛИВНЕЙ

Г.А. Яковлев

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
yakovlev-grisha@mail.ru*

Проведено моделирование динамики изотопов радона ($Rn-222$), полония ($Po-218$), свинца ($Pb-214$) и висмута ($Bi-214$) в приземной атмосфере в периоды ливней. Исследовано влияние коэффициента турбулентной диффузии, скорости и направления вертикальной составляющей ветра, высоты слоя инверсии, соотношения высоты слоя перемешивания и нижней кромки дождевого облака на радиоактивное равновесие между радонам и его продуктами распада. Проанализировано влияние нарушения радиоактивного равновесия на величину и динамику объемной активности изотопов радона ($Rn-222$), полония ($Po-218$), свинца ($Pb-214$) и висмута ($Bi-214$) в приземной атмосфере в периоды осадков.

Промоделированы вертикальные профили объемной активности радиоактивных аэрозолей при различных погодных условиях, а также произведены расчеты их интегральной активности в атмосферном столбе в зависимости от высоты нижней кромки дождевого облака.

Построена модель динамики активности радиоактивных аэрозолей осажденных на земную поверхность, были получены аналитические решения уравнений модели в Wolfram Mathematica. Проанализировано соотношение активностей в системах «земная поверхность», «атмосфера», полученные выводы помогли упростить модель для решения практических задач в области физики атмосферы.

В данной работе представлены рекомендации по использованию результатов исследования в задачах изучения влияния осадков на радиационный гамма-фон.

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ МОЩНОСТИ АМБИЕНТНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Г.А. Яковлев¹, А.А. Кобзев²

*¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
yakovlev-grisha@mail.ru*

При дождях и ливнях происходит очищение атмосферы, при этом радиоактивные аэрозоли, такие как гамма-излучающие $Pb-214$ и $Bi-214$, и другие короткоживущие продукты распада радона и торона, осаждаются на земную поверхность. Это приводит к увеличению мощности дозы гамма-излучения вблизи земной поверхности, которое длится все время выпадения осадков и около трех часов после их окончания.

Задача восстановления мощности дозы гамма-излучения, связанная с атмосферными осадками, является актуальной для обеспечения радиационной безопасности населения. Например, при радиационных инцидентах или авариях радиоактивное облако, проходя мимо пунктов мониторинга гамма-фона, может приводить к увеличению гамма-фона. Это увеличение может быть незамеченным, если оно совпало с периодом выпадения осадков. Таким образом важная информация может быть потеряна.

Для восстановления мощности дозы гамма-излучения в приземной атмосфере динамики необходимы подробные данные об интенсивности осадков. Вычитая из данных радиационного мониторинга восстановленные значения динамики гамма-фона за счет осадков можно судить о радиоактивном загрязнении атмосферы.

В связи с этим в данной работе был разработан метод реконструкции мощности AMBIENTНОГО ЭКВИВАЛЕНТА ДОЗЫ гамма-излучения в приземной атмосфере, основанный на модели переноса радиоактивных газов и аэрозолей в атмосфере. При разработке метода было сделано допущение о том, что радионуклиды вымываются только из подоблачного пространства. Это позволяет для воздушного столба определенной высоты (принимаемой равной высоте нижней границы облака) и основания в 1 м^2 использовать интегральное значение объемной

активности каждого радионуклида. В периоды выпадения осадков интегральные значения активности радионуклидов в столбе высотой определенной высоты можно определить исходя из начальных условий радиоактивного равновесия в рядах радона и тория. Для проверки метода было использовано несколько случаев ливневых осадков зарегистрированных в г. Томске на территории геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СРЕДНИХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ К МИКРОСТРУКТУРЕ ИЗОТРОПНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЛАКОВ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т.Б. Журавлева, А.В. Артюшина

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

Целью работы является сопоставление влияния двух факторов – эффектов стохастической геометрии и микроструктуры разорванной кристаллической облачности – на формирование средних потоков диффузной солнечной радиации (видимый диапазон) на границах атмосферы.

Исследование влияния формы и размеров хаотически ориентированных ледяных кристаллов выполнено на базе моделей, предложенных В.А. Baum, Р. Yang, А.Н. Heymsfield и др. и представленных в пакете OPAC [1, 2]. Для учета горизонтальной неоднородности разорванных облаков использована модель на основе пуассоновских потоков точек на прямых [3]. Расчеты выполнены с использованием алгоритмов статистического моделирования для кристаллических облаков с оптической толщиной $0,3 \leq \tau \leq 3$. Показано, что влияние случайной геометрии, максимальное при средних баллах облачности CF и $\tau = 3$, зависит от ориентации вытянутых относительно падающего солнечного излучения облаков и увеличивается с ростом зенитного угла Солнца.

Анализ совместного воздействия указанных выше факторов показал, что при $CF = 0,5$ среднее значение неопределенности, обусловленное отсутствием информации о микроструктуре облачности, находится в пределах примерно $\pm 2-3\%$. Эта величина сопоставима с влиянием эффектов случайной геометрии в оптически тонких облаках ($< 2\%$), тогда как в оптически плотной облачности диапазон ошибок, вызванный игнорированием горизонтальной неоднородности, увеличивается и при расчетах альбедо и диффузного пропускания находится в пределах ($-5\%, 5\%$) и ($-10\%, -20\%$) соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-01-00351).

1. Baum B.A., Yang P., Heymsfield A.J., Bansemer A., Merrelli A., Schmitt C., Wang C. Ice cloud bulk single-scattering property models with the full phase matrix at wavelengths from 0.2 to 100 μm // *J. Quant. Spectrosc. Radiant. Transfer*. 2014. V. 146. P. 123–139.
2. Hess M., Koepke P., Schult I. Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1998. V. 79. P. 831–844.
3. Зуев В.Е., Тумов Г.А. Оптика атмосферы и климат. Томск: Изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1996. 271 с.

МОДЕЛИРУЮЩАЯ СИСТЕМА WRF НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСАХ ИОА СО РАН: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

А.А. Барт, Т.Б. Журавлева

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

Моделирование атмосферных процессов всегда сопряжено с большим количеством расчетов. Система моделирования WRF (Weather Research & Forecasting) дает возможность проводить такие расчеты на высокопроизводительной технике, использовать данные из различных источников и включает в себя большой набор параметризаций физических процессов, который постоянно пополняется и обновляется.

В настоящее время на вычислительном сервере ИОА СО РАН (с двумя процессорами AMD EPYC™ 7551) развернут программный комплекс, состоящий из модели WRF версии 4.3 и системы препроцессинга WPS версии 4.3. Конечная цель его использования состоит в проведении исследований и прогнозировании региональных атмосферных процессов над территорией Сибири и Российской части Арктики.

На данном этапе работы проведен комплекс экспериментов по определению наиболее оптимальной конфигурации запуска моделирования системы в многопоточном режиме. Представлены первые результаты расчетов

основных метеорологических параметров для территории Томской области. Область моделирования построена по технологии вложенных областей: три горизонтальные вложенные области: самая большая область покрывает всю Томскую область, а наименьшая, но самая подробная – г. Томск и ближайшие окрестности. В качестве начальных данных используется набор данных NCEP GFS 0.25 degree (ds084.1). Результаты моделирования сравниваются с данными измерений таких параметров как сила и направление ветра, температура и влажность воздуха в марте 2020 г., проводимыми Лабораторией климатологии атмосферного состава ИОА СО РАН на полигоне «Фоновый», расположенном в 60 км от г. Томска.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ТРАЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ПОСЛЕ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ КАЛЬБУКО (ЧИЛИ, 2015) И РАЙКОКЕ (КУРИЛЫ, 2019)

С.А. Береснев, М.С. Васильева, В.С. Сясегова, М.С. Горошко

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

Представлены результаты анализа траекторий движения воздушных масс на стратосферных высотах с использованием последней версии модели HYSPLIT_5 после недавних извержений вулканов Кальбуко (Чили, 2015) и Райкоке (Курильские острова, 2019). Сравнение с данными спутниковых наблюдений и результатами других вычислительных моделей, известных из литературы, показало высокую достоверность и эффективность траекторной и дисперсионной моделей общедоступной системы HYSPLIT_5. Полученные результаты использованы при анализе известных данных о полетах высотных самолетов и стратосферных баллонов с целью проверки гипотезы о вулканогенной саже.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках госзадания ИЕИМ УрФУ по теме FEUZ-2020-0057.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ

А.В. Пененко^{1,2}, В.В. Пененко^{1,2}, Е.А. Цветова¹, А.В. Гочаков^{1,3}, Э.А. Пьянова¹, В.С. Скорик^{1,2}

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

²*Новосибирский государственный университет, Россия*

³*Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Новосибирск, Россия*

Использование данных мониторинга различных типов позволяет повысить точность систем анализа и прогнозирования качества воздуха. Так как одним из основных параметров при моделировании качества воздуха является информация об источниках, то эффективность системы мониторинга мы оцениваем на основе возможности идентифицировать основные источники в области по получаемым данным. Для идентификации источников применяются алгоритмы на основе операторов чувствительности. Ансамблевая конструкция оператора чувствительности обеспечивает естественный способ комбинировать различные типы данных измерений в одном операторном уравнении. Структура этого уравнения позволяет анализировать информативность данных измерений с помощью инструментария функционального анализа [1, 2]. Рассматривается комбинированное использование данных измерений типа изображения, интегрального типа, контактных измерений и данных типа временных рядов. Подход проиллюстрирован на сценарии обратного моделирования качества воздуха для Байкальского региона и действующих в нем систем мониторинга.

Работа выполняется при поддержке гранта № 075-15-2020-787 в форме субсидии на крупный научный проект Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект «Основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки на Байкальской природной территории»).

1. Penenko A. Convergence analysis of the adjoint ensemble method in inverse source problems for advection-diffusion-reaction models with image-type measurements // *Inverse Problems & Imaging*. 2020. V. 14. P. 757–782.
2. Penenko V.V., Penenko A.V., Tsvetova E.A., Gochakov A.V. Methods for studying the sensitivity of air quality models and inverse problems of geophysical hydrothermodynamics // *J. Appl. Mechanics and Technical Phys.* 2019. V. 60. P. 392–399.

НОВЫЕ ИЗМЕРЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В БЛИЖНЕМ ИК-ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Т.М. Петрова, А.М. Солодов, А.А. Солодов, В.М. Дейчули, Т.Ю. Чеснокова,
А.В. Ченцов, А.М. Трифонова-Яковлева

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
tanja@iao.ru, solodov@iao.ru, asolodov@iao.ru, dvm91@yandex.ru, ches@iao.ru, cav@iao.ru

Спектральная область 5800–6300 см⁻¹ используется для определения содержания парниковых газов в атмосфере Земли. Линии поглощения CH₄ и CO₂ в данном спектральном диапазоне перекрываются с линиями поглощения водяного пара и этилена. Таким образом, для дистанционного мониторинга концентрации данных парниковых газов необходимы высокоточные данные о параметрах линий не только молекулы метана и углекислого газа, но и водяного пара.

В области 5800–8700 см⁻¹ на Фурье-спектрометре IFS 125 HR зарегистрированы линии поглощения молекулы воды, уширенные давлением атмосферного воздуха. Определены значения интенсивностей, коэффициентов уширения и сдвига линий поглощения H₂O для контуров линий Фойгта и модифицированного профиля Фойгта, учитывающего зависимость уширения от скоростей сталкивающихся молекул. Проведено моделирование атмосферного пропускания с использованием параметров линий поглощения H₂O из различных версий спектроскопических баз данных HITRAN и GEISA и с нашими новыми параметрами линий H₂O. Сделано сравнение с атмосферными солнечными спектрами, измеренными наземным Фурье-спектрометром с высоким спектральным разрешением. Показано, что использование наших новых данных по параметрам линий поглощения H₂O позволяет улучшить согласие между модельными и измеренными атмосферными спектрами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-45-700011 p_a.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ ТРОПИЧЕСКОЙ СТРАТОСФЕРЫ И ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ПОЛЯРНОГО ВИХРЯ

И.В. Боровко¹, В.В. Зуев², Е.С. Савельева², В.Н. Крупчатников¹, В.С. Градов¹

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

²*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия*
irina@ommfaol.ssc.ru

Интенсивность стратосферного полярного вихря весной в значительной степени определяет продолжительность и интенсивность разрушения озонового слоя в полярных регионах. Повышение температуры в нижней субтропической стратосфере весной приводит к увеличению меридионального градиента температуры в стратосфере и последующему усилению полярного вихря в Антарктике, сопровождающемуся сильным весенним истощением озонового слоя.

В данной работе с помощью математического моделирования проанализирована взаимосвязь между стратосферным полярным вихрем и температурой тропической тропосферы.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВМиМГ СО РАН (проект № 0215-2021-0003)

УСВОЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ХИМИИ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОДОЛЖЕНИЯ

А.В. Пененко^{1,2}, В.С. Скорик (Коноплева)^{1,2}, П.М. Голенко¹, В.В. Пененко^{1,2}

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

²*Новосибирский государственный университет, Россия*

Задача усвоения данных для модели химии атмосферы рассматривается как последовательность связанных обратных задач на последовательности временных интервалов, называемых окнами усвоения. Данные измерения поступают в виде точечных по времени измерений значений концентраций. В качестве основных неопределенностей обратных задач выбраны коэффициенты модели. При этом задача идентификации функции неопределенности рассматривается как вспомогательная для оценки функции состояния модели, то есть для решения задачи продолжения из наблюдаемой в ненаблюдаемую область. Для решения отдельных обратных задач из последовательности используются мета-эвристические алгоритмы. Результат решения задачи усвоения данных численно сравнивается с результатом решения обратной задачи, когда данные измерений доступны сразу на всем временном интервале.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-07-01135; в части разработки и исследования алгоритмов идентификации параметров) и РФФИ (грант № 20-01-00560; в части разработки и анализа алгоритмов продолжения в системах усвоения данных).

АНАЛИЗ НАБЛЮДАЕМОСТИ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ ОТ ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА С ПОМОЩЬЮ ОПЕРАТОРА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА И ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ

А.В. Пененко^{1,2}, А.В. Гочаков^{1,3}, П.Н. Антохин⁴

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

²Новосибирский государственный университет, Россия

³Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, г. Новосибирск, Россия

⁴Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

a.penenko@yandex.ru

В рамках сценарного подхода в работе оценена наблюдаемость источников выбросов от транспортной сети города по косвенным данным мониторинга. Для оценки наблюдаемости использован подход на основе операторов чувствительности, который позволяет получить для задачи идентификации источников семейство квазилинейных операторных уравнений. Такое представление позволяет как решать задачу, так и использовать методы анализа линейных операторов для оценки ее свойств [1]. Для города Новосибирска рассмотрены реалистичные метеосценарии, сценарий распределения источников выбросов транспорта и расположения постов мониторинга. В численных экспериментах дорожная сеть идентифицируется сглажено по пространству. С большей точностью восстанавливаются поля концентраций. Оценка содержащейся в данных информации об источниках на основе анализа оператора чувствительности позволяет получить экспресс-оценку решения обратной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (№ 19-47-540011; в части разработки и исследования городских сценариев обратного моделирования) и РФФИ (грант № 20-01-00560; в части разработки и анализа алгоритмов продолжения).

1. Penenko V.V., Penenko A.V., Tsvetova E.A., Gochakov A.V. Methods for Studying the Sensitivity of Air Quality Models and Inverse Problems of Geophysical Hydrothermodynamics // J. Appl. Mechanics and Technical Phys. 2019. V. 60. P. 392–399.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ СИБИРСКОГО ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ В АРКТИКЕ: ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

И.Б. Коновалов¹, Н.А. Головушкин¹, И.Н. Кузнецова², М.И. Нахаев², М. Beekmann³, G. Siour³

¹Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

²Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

³Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), Creteil, France

konov@ipfran.ru

Известные модельные оценки показывают, что углеродсодержащий аэрозоль, образующийся в результате лесных пожаров в Сибири, вносит существенный вклад в атмосферный радиационный баланс в Северной Евразии и Арктике. Однако точность таких оценок по существу неизвестна, что связано, в частности, с ограниченным знанием эмиссий дымового аэрозоля и отсутствием надежных способов модельного описания изменений его оптических характеристик в процессе дальнего переноса.

В данной работе с целью анализа радиационных эффектов сибирского дымового аэрозоля в Арктике используется современный модельный комплекс, включающий в себя метеорологическую модель WRF и химико-транспортную модель CHIMERE. Модельная сетка охватывает Северную Евразию и восточную часть Арктики. Используемая новейшая версия указанного модельного комплекса позволяет рассчитывать не только пространственно-временные поля концентраций аэрозолей различного происхождения, но и учитывать влияние аэрозолей на метеорологические процессы. Особенностью методологии данного исследования является использование наблюдательных ограничений на эмиссии и атмосферные трансформации дымового аэрозоля. На первом этапе работы выполнена валидация и оптимизация модельных расчетов аэрозольных характеристик при использовании данных станционных измерений концентрации черного углерода и спутниковых измерений аэрозольной оптической толщины. Получены предварительные оценки прямого радиационного форсинга дымового аэрозоля в Арктике.

Моделирование переноса дымового аэрозоля в Арктику выполнено за счет гранта РФФИ № 19-77-20109. Моделирование рассеивающих компонент аэрозоля выполнено при поддержке РФФИ (грант № 21-55-15009).

АЭРОЗОЛЬ И КЛИМАТ

РАДИАЦИОННЫЙ БЛОК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ОБСЕРВАТОРИИ «ФОНОВАЯ»: РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ГОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Б.Д. Белан, Г.А. Ивлев, А.В. Козлов, Д.А. Пестунов, Т.К. Скляднева, А.В. Фофонов

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

Для понимания процессов, влияющих на Глобальное потепление на планете, важны данные о вариациях потоков солнечной радиации в разных диапазонах длин волн, тепловом балансе между приходящими и уходящими потоками тепла, а также альбедо подстилающей поверхности. Сотрудники Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН анализируют пространственно-временную изменчивость солнечной радиации на территории Западной Сибири, на основе данных многолетнего непрерывного мониторинга проводимого с 1995 г. по настоящее время. Наблюдения за атмосферными параметрами в приземном слое атмосферы ведутся на TOR-станции ИОА СО РАН (56°28' с.ш., 85°03' в.д.); базовом экспериментальном комплексе (БЭК) на восточной окраине г. Томска; обсерватории «Фоновая» (56°25' с.ш., 84°04' в.д.) и российско-японской сети мониторинга парниковых газов «JR-station» развернутой на территории Западной Сибири.

В докладе дано описание и технические характеристики радиационного блока измерительного комплекса обсерватории «Фоновая». Приводятся результаты первого года измерения (с ноября 2020 г. по ноябрь 2021 г.) солнечной радиации в диапазонах длин волн: $\lambda = 0,285 \div 2,8$; $0,280 \div 0,400$; $0,280 \div 0,315$; $4,5 \div 42$ мкм. Проведено сравнение полученных результатов с данными прошлых лет. На основе полученных данных рассчитаны значения альбедо подстилающей поверхности и радиационный баланс земной поверхности.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 19-05-50024). Для выполнения исследований использовалась инфраструктура ИОА СО РАН (включая ЦКП «Атмосфера»), созданная и эксплуатируемая по госзаданию.

ТРЕНДЫ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Н.Я. Ломакина, А.В. Лавриненко

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

Приводятся результаты анализа трендов изменения среднемесячной температуры пограничного слоя атмосферы (ПСА) для января и июля, выполненного по данным радиозондовых наблюдений 10-ти аэрологических станций Сибирского региона за период с 1981 по 2020 г. Установлено, что положительные тренды температуры наблюдаются в январе и в июле в пограничном слое атмосферы на всех рассматриваемых станциях за исключением умеренной зоны (50–60° с.ш.) Западной Сибири, где в январе отмечаются отрицательные тренды. Проведено также сравнение величин трендов аномалий температуры, полученных за периоды (1981–2010 гг.) и (1981–2020 гг.), из которого следует, что на территории Западной Сибири за последние 40 лет потепление усиливается в полярных широтах, как в январе, так и в июле, а наблюдаемое в субполярной и умеренной зонах в январе похолодание ослабевает. В Восточной Сибири, наоборот, в полярных широтах в январе потепление замедлилось во всем пограничном слое по сравнению с периодом (1981–2010 гг.), в субполярных широтах усилилось похолодание, а в умеренных – усилилось потепление пограничного слоя атмосферы, особенно у земной поверхности. В июле на всей территории Восточной Сибири на всех высотах ПСА наблюдается спад потепления, за исключением полярных широт и только у земной поверхности, где потепление возросло.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ СИБИРИ

А.В. Лавриненко, Н.Я. Ломакина

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

Исследованию особенностей изменения климата на территории Сибирского региона посвящено большое число публикаций, которые содержат результаты исследования тенденций изменения температуры воздуха в основном вблизи земной поверхности, в меньшей степени в свободной атмосфере и почти не охватывают пограничный слой атмосферы, где также отмечаются долгопериодные тренды, связанные с процессами глобального потепления. Поэтому оценка происходящих долговременных изменений температурного режима пограничного слоя атмосферы над территорией Сибирского региона имеет важное значение для получения более полной картины изменения компонентов климатической системы на региональном уровне, а также при решении многих прикладных задач дистанционного оптического зондирования атмосферы.

В работе обсуждаются результаты анализа трендов долговременных изменений среднегодовой температуры в пограничном слое атмосферы Сибирского региона за 1981–2020 гг., оцененных по данным наблюдений 24 аэрологических станций. Установлено, что за исследуемый 40-летний период на всей территории Сибири во всем пограничном слое атмосферы наблюдаются положительные тренды среднегодовой температуры воздуха, величина тренда уменьшается в направлении на юг и с высотой. Кроме того потепление усилилось в последнее десятилетие с 2011 по 2020 г.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕСЕЗОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

А.В. Лавриненко, Н.Я. Ломакина

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

В условиях современного глобального потепления наряду с исследованием долговременных изменений среднегодовой температуры воздуха в пограничном слое атмосферы (ПСА) несомненный интерес представляет изучение изменений среднесезонной температуры для оценки непосредственного вклада каждого из сезонов в наблюдающееся современное потепление климата как планеты в целом, так и ее отдельных регионов. Кроме того, было выявлено начавшееся с 2006 г. понижение среднегодовой температуры воздуха в северном полушарии, и в частности в Сибирском регионе, и потому имеет значение оценка вклада среднесезонной температуры того или иного сезона в темпы повышения (или понижения) среднегодовой температуры ПСА в различных районах.

В работе представлены результаты анализа трендов долговременных изменений-среднесезонной температуры в пограничном слое атмосферы Сибирского региона за 1981–2020 гг., оцененные для зимы, весны, лета и осени по данным наблюдений 24 аэрологических станций. Установлено, что главный вклад в региональное потепление климата Сибири, отмечаемое в последнее 40 лет, вносят весенний, летний и осенний периоды.

ВАРИАЦИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ПЫЛЕВОГО АЭРОЗОЛЯ В КОНВЕКТИВНЫХ УСЛОВИЯХ

А.В. Карпов, Р.А. Гушин, Г.И. Горчаков

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

По данным синхронных измерений в приземном слое атмосферы на опустыненной территории в Астраханской обл. дифференциальных счетных концентраций частиц аэрозоля и трех компонент скорости ветра рассчитаны вертикальные турбулентные потоки пылевого аэрозоля [1]. Рассчитаны статистические характеристики вариаций счетных концентраций частиц аэрозоля, компонент скорости ветра и турбулентного потока аэрозоля.

Определены параметры турбулентности в периоды проведения измерений турбулентных потоков аэрозоля, включая динамическую скорость, параметр Монина–Обухова и турбулентный поток тепла. Оценено влияние конвективных структур на низкочастотную изменчивость турбулентного потока аэрозоля. Выполнено сопоставление изменчивости градиента концентрации и вертикального турбулентного потока пылевого аэрозоля.

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

1. Горчаков Г.И., Карнов А.В., Гуцин Р.А. Турбулентные потоки пылевого аэрозоля на опустыненной территории // Докл. РАН. Наука о Земле. 2020. Т. 494, № 2. С. 53–57.

ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ВОЗДУШНОМ БАССЕЙНЕ ПЕКИНА ВЕСНОЙ 2021 г.

О.И. Даценко

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

В весенние сезоны часто наблюдается запыление воздушного бассейна г. Пекина. Интенсивное запыление атмосферного воздуха в Пекине, в частности, наблюдались в марте 2021 г. При анализе вариаций оптических и микрофизических характеристик тропосферного аэрозоля в запыленной атмосфере Пекина использовались данные мониторинга на станциях AERONET Beijing, Beijing-CAMS и Beijing_RADI. Показано, что при интенсивном запылении Пекина микроструктура аэрозоля определялась его грубодисперсной фракцией. Функция распределения частиц пылевого аэрозоля по размерам аппроксимирована логонормальным распределением. Получены оценки модального размера, параметра полуширины распределения и полного массового содержания пылевого аэрозоля (с учетом данных измерений аэрозольной оптической толщины). Результаты восстановления мнимой части коэффициента преломления свидетельствуют о том, что, «свежий» пылевой аэрозоль в случае оптической плотной пыльной мглы отличается слабым поглощением. Выполнен статистический анализ вариации оптических и микрофизических характеристик пылевого аэрозоля.

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

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ АНОМАЛИИ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В г. МОСКВЕ ЗИМОЙ И ЛЕТОМ 2021 г.

Е.Г. Семутникова¹, А.К. Анисимова¹, Р.А. Гуцин²

¹*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
кафедра Физики атмосферы, Физический факультет, Россия*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
egsemutnikova@mail.ru*

Температурные аномалии часто приводят к засухам и последующим крупномасштабным пожарам, что отрицательно влияет на экологическую обстановку. Летом 2021 г. в различных регионах планеты, включая Канаду, США и Турцию, возникали волны жары. В г. Москве в июне и июле 2021 г. отчетливо проявлялись волны тепла. С другой стороны в январе-феврале 2021 г. в московский регион пришли сильные морозы. В данной работе представлены результаты количественного анализа вариаций температуры воздуха в г. Москве в приземном и пограничном слоях атмосферы в холодную и жаркую погоду. Выявлены особенности городского острова тепла при положительных и отрицательных аномалиях температуры воздуха. Представлены характеристики аэрозольного и газового загрязнения воздушного бассейна г. Москвы при появлении волн тепла и сильных морозах.

ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЕ АППРОКСИМАЦИИ ПРОФИЛЕЙ МАССОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ И ПОТОКОВ КРУПНЫХ ЧАСТИЦ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Г.И. Горчаков¹, Р.А. Гуцин¹, С.Ф. Мирсайтов²

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

²МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия
gengor@ifaran.ru

На опустыненных территориях в приземном слое атмосферы в ветропесчаном потоке вертикальный перенос крупных частиц обусловлен, главным образом, турбулентной диффузией, что заметно влияет на вертикальное распределение крупных частиц. В [1] предложена модель вертикального распределения концентрации сальтирующих частиц в слое 0–15 см с использованием кусочно-экспоненциальной аппроксимации. В настоящей работе рассматривается вопрос о применимости экспоненциальной аппроксимации для описания вышеуказанных профилей в слое от 0 до 60 см по опубликованным данным измерений в ветровых каналах. Показано, что толщина нижнего слоя сальтации, в котором логарифмический градиент концентрации не зависит от скорости ветра в приземном слое атмосферы, увеличивается с ростом размера сальтирующих частиц. Оценено влияние скорости воздушного потока в ветровом канале на логарифмический градиент концентрации в верхнем слое сальтации. В работе обсуждаются существующие аппроксимации вертикальных распределений концентраций и потоков крупных частиц в приповерхностном и приземном слоях атмосферы. Предложена кусочно-экспоненциальная аппроксимация вертикального распределения массового потока крупных частиц в слое от 0 до 60 см.

1. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Бунтов А.В. Вертикальные профили концентраций сальтирующих частиц на опустыненной территории // Докл. РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 496, № 2. С. 137–142.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО СЛОЯ НАД ТОМСКОМ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА СИБИРСКОЙ ЛИДАРНОЙ СТАНЦИИ

А.В. Невзоров, С.И. Долгий, А.П. Макеев

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

nevzorov@iao.ru, dolgii@iao.ru, map@iao.ru

В докладе приводится анализ данных лидарных измерений оптических характеристик аэрозоля над Томском за 1986–2021 гг. По данным ряда долговременных измерений интегрального коэффициента обратного аэрозольного рассеяния B_{π}^a для фонового состояния стратосферы были построены линейные регрессии для периодов 1986–1991 гг. с уменьшением содержания стратосферного аэрозоля (СА) со скоростью $-5,1 \cdot 10^{-7}$ ср⁻¹ за декаду; для периода 2000–2006 гг. с уменьшением СА со скоростью $-6,31 \cdot 10^{-8}$ ср⁻¹ за декаду; для периода 2012–2017 гг. с уменьшением СА со скоростью $-1,79 \cdot 10^{-8}$ ср⁻¹ за декаду; а также для периода 2018–2021 гг. С 2018 г. после наблюдения на СЛС в Томске продуктов горения лесных пожаров Северной Америки 2017 г., начинается рост содержания СА со скоростью $4,8 \cdot 10^{-7}$ ср⁻¹ за декаду.

Проведена корректировка разработанной нами региональной эмпирической модели фонового стратосферного аэрозоля 2000–2017 гг., которая дополнена данными измерений с 2017 по 2021 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ СИБИРСКОГО ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ В АРКТИКЕ: ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

И.Б. Коновалов¹, Н.А. Головушкин¹, И.Н. Кузнецова², М.И. Нахаев², М. Beekmann³, G. Siour³

¹Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

²Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

³Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), Creteil, France
konov@ipfran.ru

Известные модельные оценки показывают, что углеродсодержащий аэрозоль, образующийся в результате лесных пожаров в Сибири, вносит существенный вклад в атмосферный радиационный баланс в Северной Евразии и Арктике. Однако точность таких оценок по существу неизвестна, что связано, в частности, с ограниченным

знанием эмиссий дымового аэрозоля и отсутствием надежных способов модельного описания изменений его оптических характеристик в процессе дальнего переноса.

В данной работе с целью анализа радиационных эффектов сибирского дымового аэрозоля в Арктике используется современный модельный комплекс, включающий в себя метеорологическую модель WRF и химико-транспортную модель CHIMERE. Модельная сетка охватывает Северную Евразию и восточную часть Арктики. Используемая новейшая версия указанного модельного комплекса позволяет рассчитывать не только пространственно-временные поля концентраций аэрозолей различного происхождения, но и учитывать влияние аэрозолей на метеорологические процессы. Особенностью методологии данного исследования является использование наблюдательных ограничений на эмиссии и атмосферные трансформации дымового аэрозоля. На первом этапе работы выполнена валидация и оптимизация модельных расчетов аэрозольных характеристик при использовании данных стационарных измерений концентрации черного углерода и спутниковых измерений аэрозольной оптической толщины. Получены предварительные оценки прямого радиационного форсинга дымового аэрозоля в Арктике.

Моделирование переноса дымового аэрозоля в Арктику выполнено при поддержке РФФ (грант № 19-77-20109); моделирование рассеивающих компонент аэрозоля – при поддержке РФФИ (грант № 21-55-15009).

ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД В АРКТИКЕ: ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКОВ АНТРОПОГЕННЫХ ЭМИССИЙ И ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

О.Б. Поповичева¹, М.А. Чичаева¹, Н. Евангелу², В.О. Кобелев¹, академик Н.С. Касимов¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

²Норвежский институт исследований воздуха, г. Кжселлер, Норвегия
olga.popovicheva@gmail.com

В настоящее время наибольшую актуальность представляют исследования крупномасштабных эмиссий, ориентированные на аэрозоль горения как наиболее экологически и климатически значимую компоненту загрязненной атмосферы. Новая исследовательская аэрозольная станция установлена на острове Белый в Карском море [1]. Проведены двухлетние непрерывные измерения концентрации климатического трассера – черного углерода. Наблюдается сезонный тренд высоких концентраций осенью-весной и низких летом. Смоделирован перенос ВС с помощью дисперсионной модели FLEXPART, включающей обновленный кадастр выбросов ECLIPSEv6, с целью выявления геопространственных источников происхождения ВС в Арктике. С ноября по март, когда воздушные массы переносятся на остров Белый через крупнейшие нефтегазодобывающие регионы Казахстана, Урала и Западной Сибири, вклад ВС от сжигания природного газа доминирует над промышленными и транспортными секторами, составляя от 47 до 68% с максимумом в январе. Природные пожары играют значительную роль с апреля по октябрь, внося до 81% в июне. Количественная оценка эпизодов загрязнения показала тенденцию увеличения их количества и продолжительности в холодный период, что характеризует высокое антропогенное загрязнение российской Арктики.

Работа выполнена при поддержке РФО (грант №17-2021И) и в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

1. PEEХ Arctic-Boreal Hub Newsletter Issue #11. December 2019.

ДИНАМИКА ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНА ИЗ ГРУНТА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ ИОА СО РАН И ИМКЭС СО РАН

Г.А. Яковлев¹, Р. Mac-Donald², С.В. Смирнов³, И.В. Беляева⁴, М.Ю. Аршинов⁵, В.С. Яковлева²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

³Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

⁴Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

⁵Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

yakovlev-grisha@mail.ru

Исследование динамики плотности потока радона с поверхности грунта в приземную атмосферу было проведено на экспериментальных площадках ИОА СО РАН и ИМКЭС СО РАН, удаленных друг от друга на расстояние около 3 км. Плотность потока радона измеряли двумя различными методами, основанными на регист-

рации альфа- и бета-излучений от короткоживущих дочерних продуктов распада радона, а также радиометр «Альфарад» с накопительной камерой. Параллельно с измерением плотности потока радона, регистрировался ряд метеорологических величин, включая характеристики атмосферных осадков с использованием оптического осадкомера.

Величина плотности потока радона с поверхности грунта на БЭЖ ИОА СО РАН была в 4–5 раз выше, чем измеренная на площадке ИМКЭС СО РАН. Для проверки радионуклидного состава были отобраны пробы грунта, и проведен гамма-спектрометрический анализ почвы. Пробы грунта исследовались в Томском политехническом университете в лаборатории спектрометрии. Несмотря на существенную разницу в радионуклидном составе почв в пунктах измерений, временная динамика показала хорошую синхронность.

Суточные вариации наблюдались в периоды «хорошей погоды». После выпадения атмосферных осадков наблюдались слабые изменения плотности потока радона. Более детально результаты исследований и выявленных особенностей пространственной и временной динамики плотности потока радона обсуждаются в докладе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ АСИММЕТРИИ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ И ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ

Б.В. Горячев

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

Исследовано распределение потоков многократно рассеянного света по направлениям декартовой системы координат в пространственно ограниченной дисперсной среде. Для характеристики изменений тела яркости использованы коэффициенты асимметрии, определенные в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Полученные результаты представлены в работе рядом закономерностей, сформулированных в выводах. Тело яркости деформируется при изменении продольных и поперечных (по отношению к направлению распространения излучения) оптических размеров среды. Изменения прекращаются при наступлении глубинного режима. При постоянных оптических размерах среды причиной деформации тела яркости является изменение формы индикатрисы рассеяния излучения. Глубинный режим наступает тем раньше, чем меньше коэффициенты асимметрии индикатрисы рассеяния. В оптически пространственно неограниченной среде деформация тела яркости менее выражена. Увеличение коэффициента поглощения в дисперсной среде приводит к более раннему наступлению глубинного режима.

АНТРОПОГЕННЫЙ АЭРОЗОЛЬ

СВЯЗЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ СО СМЕРТНОСТЬЮ НАСЕЛЕНИЯ г. ТОМСКА

Н.В. Дудорова, Б.Д. Белан

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

На основе данных TOR-станции о содержании твердых частиц в атмосфере и базы смертности населения г. Томска, выполнен корреляционный анализ концентрации аэрозоля и смертности за период 2011–2019 гг.

На основе исследования многолетней смертности населения от разных причин были определены возрастные группы мужчин и женщин, в большей или меньшей степени подверженных воздействию внешних неблагоприятных факторов окружающей среды. Для мужчин было сформировано 4 возрастные группы: 42–52, 53–65, 66–77, 78+ лет; для женщин – пять: 34–50, 51–64, 65–74, 75–87, 88+ лет.

Показано, что женщины в целом наиболее подвержены неблагоприятному влиянию загрязнения атмосферы твердыми частицами. При этом наиболее уязвимый возраст у женщин 65–74 года. Для этой группы было обнаружено наиболее заметное влияние высокой концентрации аэрозоля на увеличение смертности от злокачественных новообразований органов пищеварения, молочной железы, а также острого инфаркта миокарда. Кроме того, в самой молодой возрастной группе (34–50 лет) у женщин была обнаружена связь высокой концентрации аэрозоля со смертностью от «неуточненных причин» (коды МКБ-10 R00-R99). А в группе 75–87 лет со смертностью от стенокардии (код МКБ-10 I20).

Мужчины оказались наименее подвержены влиянию высокой концентрации аэрозоля. Была установлена связь только со смертностью от «Другие формы острой ишемической болезни сердца» (код МКБ-10 I24) для группы 53–65 лет и со смертностью от злокачественных новообразований мужских половых органов (коды МКБ-10 C60–C63) для группы 78+.

Исследование проведено при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50024).

ВЛИЯНИЕ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВАРИАЦИИ ДИОКСИДА СЕРЫ В ВОЗДУШНОМ БАСЕЙНЕ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ

М.Ю. Шиховцев, В.А. Оболкин, Т.В. Ходжер, Е.В. Моложникова

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

Работа посвящена исследованию причин и факторов появления максимумов концентрации диоксида серы (SO_2) в атмосфере Южного Байкала. Измерения проводились на станции мониторинга «Листвянка» (51,9° с.ш., 104,4° в.д.), расположенной в районе истока р. Ангара (Южное Прибайкалье). Регистрация атмосферных примесей и метеорологических параметров ведется с помощью хемилюминесцентного газоанализатора «СВ-320» (ОПТЭК) и ультразвуковой метеостанции «Метео-2М». Общие синоптические процессы над регионом рассматривались с помощью программы Digital Atmosphere и анализа прямых траекторий движения воздушных масс с использованием модели HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Model, NOAA).

Показано, что вероятными причинами превышения фоновых, для территории, концентраций являются мезомасштабные процессы в атмосфере и увеличение средних скоростей ветра в пограничном слое. Одним из следствий этих процессов является возникновение низкоуровневых (первые сотни метров) струйных течений, способствующих распространению воздушных загрязнений на большие расстояния. Проведенный анализ выявил влияние различных синоптических условий на состояние атмосферы над станцией в 2020 г. Установлены ситуации, при которых выбросы, поступившие от крупных источников (Иркутска, Ангарска и Шелехова) в различное время, накладываются друг на друга.

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»).

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРАХ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.В. Моложникова, О.Г. Нецветаева, М.Ю. Шиховцев, Н.А. Онищук

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

Представлены результаты исследований химического состава снежного покрова, отобранные 2013 и 2020 гг. в трех городах Иркутской области (Ангарск, Иркутск и Шелехов). На основе Эмпирического Байесовского кригинга (программное обеспечение ArcMap) построены карты пространственного распределения сульфатов, нитратов, тяжелых металлов и выявлены наиболее загрязненные участки исследуемых промышленных центров Южного Прибайкалья. Изучены особенности химического состава снеговых вод, выявлены различия и определены факторы, влияющие на изменение химического состава исследуемых объектов, как в количественном, так и качественном отношении.

Анализ данных показал, что наибольшее количество всех загрязняющих веществ содержится в снежном покрове в непосредственной близости от источников, а также в местах наиболее интенсивного движения автотранспорта. Геохимическая оценка состояния снежного покрова позволила выделить элементы с высокими концентрациями характерные для каждого из исследуемых городов. Так для снежного покрова г. Иркутска отмечены высокие концентрации марганца, цинка, стронция, бария. Для г. Шелехов – литий, бериллий, алюминий, титан, ванадий, железо, никель, кадмий. Для г. Ангарска – бор, хром, кобальт, медь, мышьяк.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-45-380024 p_a). Экотоксикологическое исследование снежного покрова в городах Иркутской области (на примере г. Иркутск, Ангарск, Шелехов), по теме государственного задания ЛИН СО РАН (№ 0345–2020–0008, «Оценка и прогноз экологического состояния оз. Байкал и сопряженных территорий в условиях антропогенного воздействия и изменения климата»).

СОСТАВ И КОНЦЕНТРАЦИЯ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ, ИЗОЛИРОВАННЫХ ИЗ АЭРОЗОЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА г. НОВОСИБИРСКА, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЕЗОНА ГОДА

И.С. Андреева¹, М.Р. Кабилов², А.С. Сафатов¹, Н.А. Соловьянова¹, Л.И. Пучкова¹,
М.Е. Ребус¹, Г.А. Буряк¹, С.Е. Олькин¹

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

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

Представлены данные по определению концентрации, состава и наличия признаков патогенности у микроорганизмов атмосферных аэрозолей г. Новосибирска, отобранных фильтрацией в период с 04.2020 по 08.2021 г. на четырех стационарных точках непосредственно в черте города Новосибирска, отличающихся уровнем антропогенного загрязнения. Для фильтрации использованы компрессоры Нораг, позволяющие за 12 ч отобрать 21,6 м³ воздуха, с применением армированных тефлоновых мембран (Sartorius, $d = 46$ мм; эффективный диаметр пор 1,2 мкм), которые фиксировались с помощью фильтродержателей Sartorius. Выделение микроорганизмов из аэрозолей, исследование их фенотипических признаков определяли стандартными методами. Показано, что в зимних пробах в числе культивируемых преобладали бактерии, образующие эндоспоры, такие как *Bacillus firmis*, *Paenibacillus thailandensis*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus cereus* и ряд других, а также – кокковые формы родов *Staphylococcus* и *Micrococcus*, характеризующиеся повышенной устойчивостью к высушиванию, перепадам температуры и другим неблагоприятным факторам среды. В весенне-летних пробах атмосферных аэрозолей наблюдали резкое увеличение концентрации неспороносных бактерий, актиномицетов и плесневых грибов, значительно увеличилось разнообразие выделяемых спорообразующих бактерий и кокковых форм, среди которых обнаружены не охарактеризованные в GenBank, что позволяет исследовать их более детально в качестве представителей новых таксономических групп. Выделенные бактериальные изоляты охарактеризованы на наличие патогенных свойств для оценки их биобезопасности и ряда биохимических признаков, имеющих значение в биотехнологии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50032).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АНТРОПОГЕННЫХ ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРИМЕСЕЙ В г. ЮРГА ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.В. Таловская¹, Ю.С. Будаева¹, Е.Г. Язиков¹, Е.С. Торосян²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

²Юргинский технологический институт Томского политехнического университета, Россия
julia.empler@yandex.ru

Атмосферный воздух промышленно развитого г. Юрга испытывает загрязнение твердыми частицами вследствие деятельности предприятий машиностроительного комплекса и ТЭЦ. В данной работе представлены исследования уровней накопления 28 химических элементов в антропогенных твердых частицах по результатам изучения твердого осадка снегового покрова. Анализ состава проб твердого осадка снега проводился инструментальным нейтронно-активационным методом на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т НИ ТПУ. Анализ показал высокие уровни накопления в твердом осадке снега редких и редкоземельных элементов (Sc, Sr, La, Hf, Ta, Ce, Sm, Tb, Yb, Lu), а также Na, Co, Ba, Th, U по сравнению с региональным фоном. Распределение ореолов высоких концентраций этих элементов в снеговом покрове г. Юрга соответствует пути от промышленной зоны, где расположены предприятия и ТЭЦ, частного сектора к прилегающим территориям. Поступление рассматриваемого спектра химических элементов вероятно связано сжиганием угля, поскольку угли обогащены данными элементами [1]. Воздействие предприятий машиностроительного комплекса отражается в повышенных уровнях накопления железа и кобальта, которые являются характерными для выбросов предприятий с металлообрабатывающим производством [2]. В целом за счет высоких уровней накопления 28 химических элементов в твердом осадке снега формируется высокий уровень загрязнения.

1. Арбузов С.И. Геохимия редких элементов в углях Центральной Сибири: автореферат дисс.... док. геол.-минерал. наук. Томск, 2005. 52 с.
2. Янин Е.П. Промышленная пыль в городской среде. М.: ИМГРЭ, 2003. 82 с.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ УРОВНЯ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА ПОСЛЕ ЛОКДАУНА COVID-19

М.А. Чичаева, О.Б. Поповичева, Д.В. Власов, А.Д. Ларионова,
Н.Е. Кошелева, академик Н.С. Касимов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия
mashichaeva@gmail.com

Меры по сдерживанию пандемии COVID-19 привели к улучшению качества воздуха, наблюдаемого во всем мире [1]. Измерения, проведенные на Аэрозольном комплексе МГУ, во время введения ограничительных мер весной 2020 г. позволяют оценить их влияние на изменение концентрации PM₁₀, PM_{2,5}, черного углерода (BC) и элементов (Sr, Ba, Sn, Cu, Bi, K, Mo, Cr, Cd, Zn, Co и др.) по сравнению с периодом восстановления экономики летом 2020 г. Период ограничительных мер характеризуется снижением концентраций BC и PM_{2,5} и последующим увеличением на 75 и 42% соответственно [2]. В это время наблюдался рост процента сжигания биомасс в результате миграции населения загород. Увеличение аэрозольного загрязнения атмосферы при восстановлении экономической активности указывает на ухудшение качества воздуха в мегаполисе. Относительный рост концентраций элементов составил от 16 до 175%, с максимумом для Sr, Ba, Sn, что связано с восстановлением промышленной и строительной активности, и увеличением потока автотранспорта в мегаполисе.

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

1. Habibi H., Awal R., Fares A. Ghahremannejad // Atmosphere. 2020. V. 11. P. 1279.
2. Popovichcheva O.B., Chichaeva M.A., Kasimov N.S. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2021. V. 91, N 2. P. 213–222.

АНАЛИЗ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ г. ИСКИТИМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА

Р.А. Амикишиева^{1,2}, В.Ф. Рапута¹

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

²Сибирский центр ФГБУ «НИЦ «Планета»», г. Новосибирск, Россия

ruslana215w@mail.ru

Контроль за загрязнением атмосферы является актуальной задачей для большинства городов и промышленных территорий и требует достаточно обширной сети наземных наблюдений. Использование информации с мультиспектральных спутниковых снимков расширяет возможности интерпретации данных наблюдений и повышает надежность математического моделирования процессов атмосферного загрязнения.

Анализ процессов загрязнения проводился для территорий г. Искитима и его окрестностей. В качестве материала исследований использовались результаты наземного и спутникового мониторинга снежного покрова в марте 2019 г. В пробах снега определялись концентрации взвешенных веществ, содержание ионных компонентов. В точках пробоотбора для зимних снимков с космического аппарата Sentinel-2 производился расчет снежного индекса NDSI [1]. По результатам сопряженных наблюдений были выявлены корреляционные зависимости между значениями индекса и концентрацией осадка, значениями рН в пробах снега. С использованием малопараметрических моделей проведена реконструкция полей загрязнения в окрестностях отдельных промышленных предприятий г. Искитима.

Использование спутниковых снимков существенно дополняет данные наземного мониторинга снежного покрова, что особенно актуально в городских условиях. Также спутниковые и наземные данные взаимно верифицируют друг друга и соответственно повышают достоверность результатов исследований.

Работа выполнена в рамках госзадания для ИВМиМГ СО РАН (проект № 0215-2021-0003), при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области (проект № 19-47-540008).

1. Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., DiGirolamo N.E., Bayr K.J., Jin J.M. MODIS snow-cover products // Remote Sens. Environ. 2002. V. 83, N 1. P. 181–194.

ДИНАМИКА МИНЕРАЛЬНО-ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ, ОСЕДАЮЩИХ В СНЕГОВОЙ ПОКРОВ НА ТЕРРИТОРИИ г. ТОМСКА

А.И. Беспалова, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

bepalova.nastena@mail.ru

Представлены результаты исследования динамики минерально-вещественного состава проб твердого осадка снежного покрова на территории г. Томска. Пробы изучены на бинокулярном микроскопе согласно нашей запатентованной методике (патент № 2229737; авторы Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю., Таловская А.В.) и на сканирующем электронном микроскопе в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ. Выделены природные (полевые шпаты, кварц, слюды, биогенные остатки и др.) и техногенные (микросферулы, шлак, угольная пыль, кирпичная крошка и др.) типы частиц. Соотношение природных и техногенных частиц существенно не изменилось в период наблюдений. Обнаружены как схожие минеральные фазы, так и отличные, характерные для определенной промышленной зоны. Выполнен анализ взаимосвязи минерально-вещественного и гранулометрического состава проб. Проведен также сравнительный анализ состава проб твердой фазы снега с составом проб уличной пыли, отобранных на соответствующих участках г. Томска в летний период.

АНАЛИЗ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИМЕСЕЙ НА ЮЖНОМ БАЙКАЛЕ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА СТАНЦИИ ЛИСТВЯНКА

А.А. Леженин¹, В.Ф. Рапута¹, В.А. Оболкин², Т.В. Ходжер²

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

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

lezhenin@ommfao.ssc.ru

Для изучения процессов переноса и трансформации примесей применяются различные гидродинамические модели атмосферы. При наличии необходимой входной информации они позволяют описать процессы загрязнения территорий. В противном случае следует использовать компромиссный подход, основанный на модельных представлениях процессов переноса примесей и данных наблюдений в рамках постановок обратных задач [1].

В докладе обсуждаются результаты численного анализа результатов непрерывного мониторинга концентраций газовых и аэрозольных примесей станции EANET, находящейся в пос. Листвянка. Предложены модели оценивания полей концентраций диоксидов серы, азота, субмикронных фракций аэрозольных частиц по данным измерений. Модели базируются на асимптотиках решений уравнения турбулентной диффузии. В качестве наиболее значимых источников атмосферных загрязнений рассматриваются крупные ТЭЦ, расположенные в гг. Иркутске, Ангарске, Шелехове. Проводится анализ эпизодов прохождения дымовых шлейфов ТЭЦ через пункт наблюдений. Представлены результаты численного восстановления и трансформации полей концентраций от удаленных источников.

Получены оценки распределений диоксидов серы, азота в продольном и поперечном сечениях дымового шлейфа от Ново-Иркутской ТЭЦ.

Применительно к процессам мониторинга загрязнения территории Южного Байкала предложенные модели оценивания существенно упрощены, что обусловлено значительной удаленностью пункта наблюдения от доминирующих источников.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ.

1. Рапута В.Ф., Симоненков Д.В., Белан Б.Д., Ярославцева Т.В. Оценка выбросов диоксида серы в атмосферу Норильского промышленного района // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 6. С. 465–470.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В.Ф. Рапута, А.А. Леженин

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

raputa@sscc.ru

Шлейфы от труб промышленных предприятий и крупных ТЭЦ визуализируют перенос дымовых смесей в атмосфере. Спутниковые снимки фиксируют активную и пассивную стадии распространения дымовых струй [1]. Снимки позволяют получать текущую информацию о перемещении примесей.

В докладе обсуждаются методы оценивания динамических и тепловых параметров выбросов дымовых смесей из труб промышленных предприятий и тепловых станций. Методы основаны на решениях уравнений гидротермодинамики атмосферы. Для проведения численного анализа привлекаются спутниковая информация, данные измерений температуры и скорости ветра с аэрологических и метеорологических станций. В случае нейтрально стратифицированной атмосферы используются аналитические решения в осесимметричном приближении, что позволяет представить оценки параметров источников в явном виде. В качестве объектов исследований рассмотрены крупные ТЭЦ, расположенные на Байкальской природной территории. Для оценки динамических и тепловых параметров атмосферных выбросов используются зимние спутниковые снимки.

Предлагаемые методы целесообразно применять для зимних условий. В зимний период времени увеличиваются объемы дымовых выбросов. Благодаря снежному покрову на снимках из космоса обеспечивается контрастность теней дымовых шлейфов на земную поверхность. Для развития методов оценивания параметров источников при устойчивой и неустойчивой стратификации атмосферы необходимо численное решение уравнений гидротермодинамики атмосферы.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ.

1. Рапута В.Ф., Леженин А.А. Оценка динамических и тепловых характеристик подъема дымового шлейфа по спутниковой информации // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 7. С. 530–534.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ПРОБ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ СНЕГОВОГО ПОКРОВА ИЗ ОКРЕСТНОСТЕЙ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (КЕМЕРОВСКАЯ И НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТИ)

Д.А. Володина, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
volodina.da2014@yandex.ru*

Представлены геохимические особенности различных фракций проб снегового покрова, отобранных в районах расположения цементных заводов в Кемеровской (г. Топки) и Новосибирской (г. Искитим) областях. Рассматриваемые предприятия являются крупными производителями строительных материалов. В ходе анализа были рассмотрены пробы из зон влияния цементных заводов, карьеров по добыче сырьевых материалов, а также пробы из жилых частей рассматриваемых территорий.

Для разделения на фракции пробы снегового покрова были просеяны через сита с разными размерами ячеек (<0,02; 0,02–0,04; 0,04–0,1; 0,1–0,125; 0,125–0,25; 0,25–0,5; >0,5 мм). Было выявлено, что пробы снегового покрова, отобранные на исследуемых территориях представлены частицами размерами 0,02–0,04; <0,02; реже – 0,04–0,1 мм. Выделенные фракции проб снегового покрова изучены методом инструментального нейтронно-активационного анализа на ядерном реакторе ТПУ. В результате определены геохимические особенности фракций проб твердой фазы снегового покрова и рассчитаны эколого-геохимические показатели. Выявлены размеры частиц, концентрирующих химические элементы, характерные для выбросов цементного производства.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ РАССЕИВАНИЯ ВЫБРОСОВ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MPP-2017

С.В. Михайлюта¹, И.С. Ефремова¹, А.А. Леженин²

¹*Ассоциация Экологических Расследований, г. Красноярск, Россия*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
mikhailuta@gmail.com*

Рассмотрены удельные показатели и характеристики выбросов от наиболее распространенных бытовых автономных источников теплоснабжения, использующих бурый уголь. Используются методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (MPP-2017). На примере бенз(а)пирена и мелкодисперсных частиц приведены результаты расчетов рассеивания для г. Красноярск. Проведено сравнение с расчетными значениями, полученными для крупной ТЭЦ. Результаты анализа позволяют оценить вклад автономных источников теплоснабжения в загрязнение атмосферного воздуха в городе на фоне промышленных выбросов. Расчетные значения концентраций сравнивались с результатами измерений. Выявлено, что фактические значения концентраций бенз(а)пирена и мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе города превосходят результаты оценок по MPP-2017.

ПОВЫШЕННЫЕ УРОВНИ ГАММА-ФОНА В ПАРКАХ И ЗОНАХ ОТДЫХА г. ТОМСКА

Д.В. Сацук, А.Д. Побережников, А.В. Вуколов, В.С. Яковлева

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
dvs61@tpu.ru*

Оценка гамма-фона в городской среде является важным аспектом радиологической защиты населения. В качестве источников облучения могут выступать материалы природного происхождения, имеющие повышенный гамма-фон и используемые в качестве строительных и отделочных материалов зданий и объектов городской инфраструктуры, промышленные объекты, вызывающие загрязнение окружающих территорий материалами, используемыми в технологических процессах, а также особенности рельефа местности (естественные и искусственные) влияющие на величину радиационного фона.

Объектом исследования являлись потенциально опасные для населения Томска объекты. Были проведены измерения уровней гамма-фона на объектах городской инфраструктуры в центральной части города, относящиеся к зонам отдыха населения, в том числе на гранитной набережной реки Ушайка. Были рассчитаны величины годового эквивалента эффективной дозы и риска возникновения радиационно-индуцированного рака при нахождении на исследуемых объектах. Проведен сравнительный анализ исследуемых объектов на соответствие нормам радиационной безопасности.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ, РАССЕЯНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ В ДЫМАХ СГОРАНИЯ СОСНЫ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ (БАК) ИОА

В.Н. Ужegov¹, В.С. Козлов¹, И.Б. Коновалов², П.Н. Зенкова¹, Вас.В. Польшкин¹, В.А. Ромашенко³,
Д.Г. Чернов¹, В.П. Шмаргунов¹, Е.П. Яужева¹

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

²Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

uzhegov@iao.ru

В Большой Аэрозольной Камере выполнен III этап комплексных измерений спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления на длинах волн 0,45–3,9 мкм, углового рассеяния (поляризационная нефелометрия) и поглощения (многоволновая аэталометрия) 0,44–0,63 мкм в дымах сгорания лесных горючих материалов. Исследована изменчивость оптических характеристик аэрозолей на стадии дымообразования в зависимости от полной массы горючего материала и величины параметра смешения масс (MIX) для режимов пламенного горения (генерация микрочастиц черного углерода) и тлеющего горения (частицы коричневого углерода), и исходной относительной влажности воздуха. Проанализирована динамика характеристик дымов при их 3- и 4-суточном старении под воздействием ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 300–400 нм. Для исследованных пиролизных и смешанных дымов выполнен анализ взаимных связей коэффициентов аэрозольного ослабления, рассеяния и поглощения.

Для параметра смешения масс в диапазоне $0 < \text{MIX} < 10\%$ предложена методика разделения полной концентрации поглощающего вещества на компоненты, обусловленные Black Carbon и Brown Carbon. Показано, что при многосуточном старении под воздействием ультрафиолетового излучения в смешанных дымах убывание поглощающей компоненты, обусловленной коричневым углеродом, происходит существенно быстрее по сравнению с черным углеродом. Получены оценки эффективной удельной массовой концентрации коричневого углерода в модельных дымах. По данным аэталометрических и спектрофелометрических измерений проведено «восстановление» альbedo однократного рассеяния (АОР). Исследованы зависимости восстановленных оценок АОР от длины волны, возраста и начальной концентрации дымового аэрозоля, а также длительности его облучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (Соглашение № 19-77-20109).

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЩЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ И РАССЕЯНИЯ В ДЫМАХ СГОРАНИЯ СОСНЫ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ ИОА

В.Н. Ужegov¹, В.В. Веретенников¹, В.С. Козлов¹, В.А. Ромашенко², В.П. Шмаргунов¹

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

uzhegov@iao.ru

В дымах сгорания лесных горючих материалов в Большой Аэрозольной Камере ИОА проведены измерения спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления в диапазоне длин волн 0,45–3,9 мкм (трассовый измеритель прозрачности атмосферы) и коэффициентов направленного светорассеяния в спектральном диапазоне 0,46–0,63 мкм и в диапазоне углов рассеяния 15–165° (поляризационный спектрофелометр).

Отдельно для коэффициентов направленного светорассеяния и спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления была решена обратная задача с целью получения микрофизических и радиационных характеристик типичного дымового аэрозоля (в частности комплексного показателя преломления и параметра асимметрии). Для субмикронного аэрозоля (радиус частиц $r < 0,8$ мкм) проведено сопоставление результатов решения обратной задачи для двух одновременно измеренных массивов данных.

Особое внимание уделено изменчивости радиационных и микрофизических характеристик аэрозолей на стадии дымообразования в зависимости от полной массы горючего материала и величины параметра смешения масс (MIX) для режимов пламенного горения (генерация микрочастиц черного углерода) и тлеющего горения (частицы коричневого углерода).

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (Соглашение № 19-77-20109).

COTRIBUTION OF GAMMA BACKGROUND RADIATION FROM BUILDING ON HUMAN HEALTH

E. Yeboah¹, P. Mac-Donald¹, G.A. Yakovlev²

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Russia

²Tomsk State University, Russia
eugeniayeboah64@gmail.com

Gamma radiation is a type of electromagnetic radiation, which is very similar to light. They are emitted by an unstable nucleus that is frequently emitting neutrons and at the same time beta particle. When gamma radiation passes through matter, it ionizes atoms mainly through interactions with electrons. They can penetrate through objects and materials very easily and hence can be stopped by only dense materials like lead and steel. Therefore without inhalation or ingestion, large amount of doses from gamma radiation can be delivered to the internal organs of humans. This makes it very dangerous to the health of humans and therefore very important to investigate the contribution of gamma background radiation on human health.

This study was conducted using a scintillation detector to measure the ambient equivalent dose rate between a building and a field at different height and to determine the gamma background radiation contributed by the building. The average annual effective dose and the excess lifetime cancer risk of a person who stays close to the building and a person who stays far away from the building were estimated. The average annual effective dose of the person who stays close and the person who stayed far from the building for a year were found to be 0.09 mSv and 0.08 mSv respectively. Also the excess life time cancer risk the person who stays close and the person who stayed far from the building were found to be 0.294 and 0.246 respectively.

INVESTIGATION THE GAMMA BACKGROUND RADIATION IN TOMSK

E. Yeboah¹, P. Macdonald¹, G.A. Yakovlev²

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Russia

²Tomsk State University, Russia
eugeniayeboah64@gmail.com

All living organisms are mostly exposed to natural ionizing radiation. This exposure comes from cosmic rays, terrestrial radionuclides, air, construction materials, food, water, as well as human body. Various factors, including geological location, building materials, atmospheric conditions and objects of the technosphere affect environmental gamma dose rates. The rate of exposure depends widely on the location. For instance, at higher altitudes, cosmic rays are very intense and uranium and thorium concentrations increases in localized locations. As a results of human actions and habits, the rate of exposure to radiation might also vary. Materials used in construction of building acts as both a source of radiation and as a shield to outdoor radiation. For houses that are made from wood and houses with light walls, the source effect of radiation can be neglected and also they walls are ineffective shield against outdoor radiation. In contract, houses made from bricks, concrete and stones with thick walls serve as a shield to outdoor radiation but because the amount of material used are massive, the activity concentration are also high hence making source effect high. Building materials that are used in construction of houses contributes significantly to the amount of dose humans are exposed to through inhalation, this makes it very vital to investigate the gamma background radiation emanating from building to the environment.

This study was conducted in the city of Tomsk in between a field made up of soil and a building. The ambient gamma dose rate in between the field and the building were measured for different heights and analysed. At the end of the experiment, the gamma background radiation near the building decreased with increasing distance because the gamma background radiation close to the building was from the soil and materials used for construction of the building. Also, as we measured above the soil at different heights, the dose rate of the gamma radiation decreased because of the presence of radon, which is a noble gas. They settle first in the soil before diffusing into the environment and this makes the concentration in the soil higher than that in air.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ

РАССЕЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ КАПЕЛЬНЫМ КЛАСТЕРОМ

Д.Н. Габышев, Д.В. Щербаков, Д.Н. Медведев

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия
gabyshev-dmitrij@rambler.ru

Микрокапли воды в облаках, совершая транзит возле друг друга на расстояниях порядка их диаметра, испытывают вязкое трение через прослойку воздуха, превышающее сопротивление неограниченной газовой среды. Такие события происходят весьма часто, учитывая длину свободного пробега капель в облаке (~ 1 м). В работе [1] данное явление исследовалось с помощью капельного кластера – плоского массива микрокапель воды, самоорганизованных в структуру с гексагональным порядком и левитирующих над локально нагретой свободной поверхностью воды из-за восходящего паровоздушного течения, уравнивающего вес капель [2]. Малая неравновесность внешних условий может приводить к тому, что капли начинают хаотично перемешиваться в плоскости кластера. Новыми наблюдениями показано, что суммарная кинетическая энергия всех капель в кластере и суммарная мощность их механических потерь хотя и флуктуируют во времени, но их средние значения за весь период наблюдений одинаковы по порядку величины для кластеров с разным количеством капель (от 8 до 77). Данный результат является новым в дополнение к известному механизму диссипации внутри-капельными течениями [3].

Исследование было поддержано Советом по грантам Президента РФ (грант № МК-819.2020.2).

1. *Shavlov A.V. et al. // Physica Scripta. 2012. V. 86. P. 055501.*
2. *Габышев Д.Н. и др. // ЖТФ. 2021. Т. 91, №9. С. 1331.*
3. *Аринштейн Э.А., Федорец А.А. // Письма в ЖЭТФ. 2010. Т. 92, №10. С. 726.*

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

А.А. Андрикович, А.А. Дорошкевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
alex.andr_99@mail.ru

Поляризационное лазерное зондирование аэрозольной среды основывается на трансформации состояния поляризации зондирующего излучения, рассеянного аэрозолями. В условиях двукратного рассеяния в приемную систему лидара поступает излучение с неоднородным распределением энергетических и поляризационных характеристик по сечению пучка [1, 2]. Параметры этого распределения позволяют оценить микрофизические характеристики аэрозольной среды. Изменение характеристик зондирующего излучения происходит не только в исследуемой среде, но и на элементах оптической системы лидара. Поэтому для корректной интерпретации результатов лазерного поляризационного зондирования необходимо учитывать эти изменения.

В докладе обсуждается оценка трансформации энергетических и поляризационных характеристик излучения в оптических системах лидара. Для моделирования излучения с неоднородным распределением энергетических и поляризационных характеристик по сечению пучка был разработан алгоритм, основанный на методе матриц Мюллера [3] и трассировке излучения по алгоритму Федера [4].

1. *Pal S.R., Carswell A.I. Polarization anisotropy in lidar multiple scattering from atmospheric clouds // Appl. Opt. 1985. V. 24, N 21. P. 3464–3471.*
2. *Самохвалов И.В. и др. Коаксиальный лидар многократного рассеяния: распределение степени поляризации излучения в плоскости регистрации // Изв. вузов. Физ. 2012. Т. 55, № 9/2. С. 141–142.*
3. *Шерклифф У. Поляризованный свет. М.: Мир, 1965. 264 с.*
4. *Михельсон Н.Н. Оптика астрономических телескопов и методы ее расчета. М.: Физ.-мат. лит.-ра, 1995. 383 с.*

ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ОТ МЕТЕОУСЛОВИЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ г. НОВОСИБИРСКА

Н.А. Лаптева¹, А.С. Сафатов¹, С.Е. Олькин¹, И.С. Андреева¹, Н.А. Соловьянова¹,
Г.А. Буряк¹, М.Р. Кабилов²

¹ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия
²ЦКП «Геномика» Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН,
г. Новосибирск, Россия
lapteva@vector.nsc.ru

В рамках работ по проекту РФФИ на площадке ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора осуществлялся наземный пробоотбор раз в две недели начиная с 23.09.2020 г. 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. Цель настоящей работы – исследование зависимости концентрации культивируемых микроорганизмов от метеопараметров: направления ветра, скорости ветра, температуры, влажности и давления.

Отобранные на мембранные фильтры пробы аэрозоля помещали в пробирки с 5 мл физраствора и выдержали 30 минут при комнатной температуре на качалке (165 об./мин), затем 2 мин встряхивали на вортексе. Полученные суспензии высевали на пять питательных сред: по 0,1 мл суспензии на чашки со средами ГРМ, КАА, 1:10, Тгл, ПА равномерно распределяли по поверхности агара; среда Сабуро засеяна глубинным способом 1 мл суспензии к среде, остуженной до 45 °С. Инкубировали чашки с посевами при температуре 28–30 °С до 2–7 сут. Число колоний в пробах вычисляли методом Кербера.

Метеоданные поступают с метеопоста, расположенного вблизи точки пробоотбора с разрешением 1 мин, которые в дальнейшем усреднялись за 12 ч.

Приведены результаты сопоставления за период исследований среднеполусуточных концентраций культивируемых микроорганизмов со средними за период пробоотбора метеопараметрами.

Работы выполнены при поддержке проекта РФФИ «Микромир» (грант № 19-05-50032).

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВИРУСНЫХ ЧАСТИЦ В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

А.А. Черемискина, В.М. Генералов, Н.Б. Рудометова, А.С. Сафатов, Г.А. Буряк

ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия
cheremiskina_aa@vector.nsc.ru

Исследование аэрозолей на наличие вирусов сопровождается рядом проблем, одной из которых является низкая концентрация патогенов в пробе [1].

Решением проблемы низкой концентрации может выступать диэлектрофорез. Действие диэлектрофореза заключается в создании переменного электрического поля между двумя электродами [2]. В области действия поля появляется возможность контролировать направление и поступательное движение вирусных частиц, тем самым осуществлять их концентрирование в необходимом месте.

Визуализация эффективности концентрирования вирусов осуществлялась путем их окрашивания флуоресцентным красителем – флюорисцеин-5-изоционат и наблюдением за ними с помощью оптического микроскопа в ультрафиолетовом свете. В работе представлены результаты проведения диэлектрофореза вирусоподобных частиц, окрашенных флюорисцеин-5-изоционатом.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ГЗ 21/21 отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора и проекта РФФИ № 18-29-02091.

1. Fronczek C.F., Yoon J.-Y. Biosensors for monitoring airborne pathogens // J. Laboratory Automation. 2015. V. 20, N 4. P. 390–410.
2. Ding J. et al. Concentration of Sindbis virus with optimized gradient insulator-based dielectrophoresis // Analyst. 2016. N 6. P. 1997–2008.

РАЗРАБОТКА МЕТАНОВОГО ПГС-ЛИДАРА

С.А. Садовников, О.В. Харченко, О.А. Романовский, Д.А. Тужилкин, С.В. Яковлев

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

Разработка лидарных систем для дистанционного измерения концентраций парниковых газов остается актуальным направлением исследований. Научное сообщество прикладывает большие усилия по созданию новых и модернизации существующих подходов и установок лидарного газоанализа атмосферы. При этом все чаще в современной литературе встречаются различные вариации классического метода дифференциального поглощения и рассеяния, например, используются комбинации узких линий излучения (сотни МГц) с широкими с полушириной на полувысоте на уровне единиц нм для длин волн близ 1,6 мкм [1], либо комбинация двух широких линий излучения.

В настоящее время ведутся работы по практическому применению различных лазерных источников с параметрической генерацией света (ПГС) при решении задач лидарного зондирования малых газовых составляющих атмосферы, в частности метана (при $\Delta\lambda = 1\div 5 \text{ см}^{-1}$).

В данной работе представлены результаты отладки и модернизации узлов и механизмов разрабатываемого в ИОА СО РАН метанового ПГС-лидара. Выполнена калибровка длин волн зондирования с использованием газовой кюветы. Разработан юстировочный блок для настройки углового положения выводного зеркала лидара в полуавтоматическом режиме, создано программное обеспечение управления данным блоком. Проведенные изменения обеспечивают устойчивую работу лидара в бесперебойном режиме.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Shibata Y., Nagasawa C., Abo M. // Applied Optics. 2017. V. 56, N 4. P. 1194–1201.

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА АЭРОЗОЛЕОБРАЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В ВОЗДУХЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАССТОЯНИЯ ОТ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ОЧАГОВ ГОРЕНИЯ

А.М. Долгов, М.Е. Плехотниченко, Г.Г. Дульцева, С.Н. Дубцов

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

Исследовано содержание газообразных соединений, участвующих в образовании атмосферного органического аэрозоля, в воздухе на разных расстояниях от очагов горения двух типов: природных (лесные пожары) и антропогенных (тлеющие участки полигонов твердых бытовых отходов). Точки пробоотбора располагались на различных расстояниях от очагов горения с учетом метеорологических условий, чтобы исследовать воздушные массы, переносимые непосредственно из этих очагов. Пробы воздуха отбирались в поглощительные трубки, заполненные селективными модифицированными сорбентами для анализа органических соединений разных классов. При помощи методов высокоэффективной жидкостной хроматографии и спектрофотометрии измерены концентрации альдегидов (формальдегид, ацетальдегид, бензальдегид, фурфураль, акролеин), кетонов (ацетон, метилэтилкетон, метилфенилкетон), алифатических и ароматических гидроперекисей, карбоновых кислот, простых и сложных эфиров, органических нитритов и нитратов, оксидов азота в приземном слое воздуха. Прослежены фотоокислительные трансформации альдегидов с образованием продуктов перекисной природы, показано, что скорости этих процессов различны в зависимости от природы очага горения. Обнаружено накопление надмуравьиной и надуксусной кислот в воздушных массах, переносимых от очагов лесных пожаров. В воздушных массах вблизи полигонов отмечено присутствие непредельных альдегидов, среди которых преобладает акролеин, и галогенированных органических соединений. Проведено кинетическое моделирование конверсии газ-частица с целью прогнозирования состава органического атмосферного аэрозоля при наличии очагов горения для оценки возможного биологического действия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-77-20092).

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВДУВА ГАЗА С ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОЙ СФЕРЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В.А. Архипов, С.А. Басалаев, К.Г. Перфильева, А.С. Усанина

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

Закономерности движения частиц дисперсной фазы (капель, пузырьков или твердых частиц) в двухфазном потоке представляют интерес при решении ряда практических задач. При этом для расчета характеристик двухфазного течения необходимы зависимости для коэффициента сопротивления, который зависит от параметров дисперсной фазы и дисперсионной среды. В настоящей работе предложена методика определения коэффициента сопротивления одиночной твердой сферической частицы в присутствии вдуваемого потока газа с ее поверхности наряду с обдувающим потоком частицу [1]. Получены экспериментальные данные по коэффициенту сопротивления твердой сферической частицы при вдуве воздуха с ее поверхности в промежуточном и автоматическом режимах обтекания частицы. На основе экспериментального исследования получена эмпирическая зависимость коэффициента сопротивления от соотношения скорости вдува газа с поверхности частицы и скорости обдувающего твердую сферу потока. Сравнительный анализ экспериментальных данных в пересекающемся диапазоне показал согласование результатов. Полученная зависимость для коэффициента сопротивления может быть использована при анализе технологических процессов в двухфазных средах, содержащих частицы дисперсной фазы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания № 0721-2020-0036.

1. Патент РФ 2700728 С1, МПК G01N 15/10. Способ определения коэффициента сопротивления сферической частицы при вдуве газа с ее поверхности / В.А. Архипов, С.А. Басалаев, С.Н. Поленчук, К.Г. Перфильева, Р.Ш. Юсупов, Е.А. Маслов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (НИ ТГУ). опублик. 19.09.2019, Бюл. № 26. 13 с.

ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЕЙ И ОБЛАКОВ НА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УХОДЯЩЕГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.В. Русскова

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

Поляриметрия является эффективным методом исследования аэрозолей и облаков по характеристикам рассеянного солнечного света. На сегодняшний день значительная часть инструментальных средств пассивного зондирования атмосферы оснащена возможностью измерять не только интенсивность рассеянной радиации, но и другие компоненты вектора Стокса. Важность использования полного вектора Стокса в решении обратных задач аэрозольного светорассеяния и задач восстановления оптических и микроструктурных свойств облаков доказана рядом исследований (О. Dubovik et al., 2019; В. Yi et al., 2014; и др.), результаты которых успешно применены на практике.

Исчерпывающих работ, направленных на анализ ошибок Δp , обусловленных пренебрежением поляризации света в расчетах характеристик поля излучения, в отечественной и зарубежной научной литературе не представлено, и лишь небольшое число исследований проведено для ограниченного набора атмосферных ситуаций (М. Mishchenko et al., 1994; S. Kotchenova et al., 2006; С. Emde et al., 2019; и др.). Кроме того, эти расчеты выполнены в предположении черной либо изотропно отражающей, деполаризирующей поверхности.

Для решения векторного уравнения переноса в ИОА СО РАН разработана радиационная модель MСPOLART (Monte Carlo POLARized Radiative Transfer) (Т. Russkova et al., 2020). В дополнение к стандартным возможностям, модель позволяет учитывать поляризацию света, отраженного от взволнованной океанической поверхности. С помощью MСPOLART проведены расчеты вектора Стокса, степени поляризации уходящего излучения, а также ошибок Δp для различных значений длины волны, оптической толщины атмосферы, оптических моделей аэрозоля, жидкокапельных и кристаллических облаков, альбедо и типов поверхности, условий освещения и наблюдения. Определены условия, при которых следует использовать векторное уравнение переноса солнечного излучения для решения прямых и обратных задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-77-10022).

АЭРОЗОЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В МОСКОВСКОМ МЕГАПОЛИСЕ

Р.Г. Ковач, О.Б. Поповичева, М.А. Чичаева, академик Н.С. Касимов

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия
rkovach@yandex.ru*

Высокие темпы выбросов загрязняющих веществ в урбанизированных районах приводят к накоплению в атмосфере аэрозолей, характеризующихся широким диапазоном микрофизических свойств и сложным химическим составом, включая экологически опасные компоненты техногенных эмиссий. На базе инструментального Аэрозольного комплекса МГУ реализуется подход к организации и проведению непрерывных измерений качества воздуха, обеспечивающих научно-обоснованный систематический анализ аэрозольного состава атмосферы Московского мегаполиса. Развивается инфраструктура анализа качества воздуха, включающая инструменты измерений в реальном времени и отбора аэрозолей. Проводится одновременный анализ микрофизических характеристик аэрозолей – числа частиц и распределения по размерам, включая нанометровый диапазон, а также массовой концентрации и химического состава частиц размером менее 10 мкм (PM_{10}) в стандартах качества воздуха и размером менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) в стандартах оценок влияние микрочастиц на здоровье населения. Собираются долгосрочные базы данных массовых концентраций компонентов аэрозолей (ионов, элементов, ПАУ) в условиях варьирования метеорологических параметров атмосферы и дальнего переноса воздушных масс.

Работа выполняется при поддержке проекта РНФ № 19-77-30004 и в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ С ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА

А.Д. Побережников¹, К.А. Субботина¹, Г.А. Яковлев², С.В. Смирнов³, В.С. Яковлева¹

¹*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

³*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
andrewpad@tpu.ru*

Величина скорости испарения влаги с поверхности грунта является важным фактором для ряда областей сельского хозяйства и природопользования. Прямое измерение данного параметра затруднено в связи с технической сложностью реализации и автоматизации необходимого измерительного оборудования. Существующие методики расчета скорости испарения по данным метеорологических наблюдений обладают низкой точностью и требуют наличия метеостанций в районе проведения исследований.

Была предложена методика косвенного определения скорости испарения влаги с поверхности почвы по изменению уровня регистрируемого гамма-фона. По данным метеонаблюдений и измерений уровня гамма-фона на экспериментальной площадке ИМКЭС СО РАН за период август–сентябрь 2021 г. была рассчитана скорость испарения влаги и проведена корреляция с изменениями уровня гамма-фона.

Для верификации данных была создана и введена в эксплуатацию автоматизированная испарительная установка. Сравнение расчетных данных с данными испарительной установки показали достоверность полученных результатов.

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СИГНАЛА ОАД В СМЕСЯХ ПОГЛОЩАЮЩЕГО ГАЗА С ВОДОРОДОМ

А.Н. Куряк, Д.А. Помазкин, Б.А. Тихомиров

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

Водород характеризуется много большими по сравнению с другими газами удельной теплоемкостью, коэффициентом теплопроводности, скоростью звука и меньшей динамической вязкостью. Поэтому в исследованиях поглощения излучения, например, водяным паром (H_2O) в смесях с водородом (H_2) при давлениях

P_{H_2} P_{H_2O} оптико-акустическим (ОА) методом существует большая проблема получить полезный сигнал оптико-акустического детектора (ОАД) с отношением S/N таким же, как, например, в смесях водяного пара с азотом, или кислородом.

В настоящем докладе представлены результаты тестовых экспериментов, направленных на изучение поведения ОА сигналов, генерируемых при поглощении лазерного излучения водяным паром в смесях с азотом и водородом, в зависимости от общего давления и состава смесей. Обсуждаются причины отсутствия полезных ОА сигналов в водородных смесях [1, 2]. Установлена природа помехи в сигнале ОАД от аэрозольного рассеяния [3].

1. *Kapitanov V.A., Troitskii V.O., Tikhomirov B.A., Tyryshkin I.S.* Pulse photoacoustic spectroscopy of water vapor in UV spectral region // Proc. SPIE. 1996. V. 3090. P. 204–207.
2. *Tikhomirov B.A., Troitskii V.O., Kapitanov V.A., Evtuschenko G.S., Ponomarev Yu.N.* Photoacoustic measurements of water vapor absorption coefficient in UV spectral region // Acta Physica Sinica. 1998. V. 7. P. 190–195.
3. *Козлов В.С., Панченко М.В., Тихомиров А.Б., Тихомиров Б.А.* Измерение аэрозольного поглощения излучения с длиной волны 694,300 нм в приземном слое воздуха // Оптика атмосф. и океана. 2002. Т. 15, № 9. С. 756–761.

ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТРИЦЫ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

И.С. Кеда, В.В. Брюханова

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

Наряду с ослаблением в дисперсных системах наблюдается еще и изменением состояния поляризации излучения. Поэтому деполаризация лазерного излучения в рассеивающей среде может быть вызвана либо ее анизотропией, либо многократным рассеянием излучения.

Максимально измеряемую информацию о рассеивающих свойствах дисперсных систем несет матрица рассеяния света (МРС) размерностью 4×4 [1]. Диагональные элементы матрицы рассеяния света характеризуют изменение интенсивности, а остальные – взаимосвязь отдельных компонентов зондирующего и рассеянного излучения.

Определение 16 элементов МРС основано на последовательном зондировании исследуемой среды лазерным излучением с четырьмя различными состояниями поляризации: тремя видами линейно поляризованного излучения и циркулярно поляризованным. Как известно, лазерное излучение является линейно поляризованным. Для преобразования его состояния поляризации используются вращатели плоскости поляризации и фазовая четвертьволновая пластинка. Производители этих приборов гарантируют отклонение характеристик излучения в пределах 2% [2].

На основе анализа эллиптичности линейно и циркулярно поляризованного лазерного излучения оценена погрешность определения элементов матрицы обратного рассеяния света (МОРС), обусловленная ошибками изготовления и юстировки фазовой четвертьволновой пластинки.

1. *Розенберг Г.В.* Вектор – параметр Стокса // УФН. 1955. Т. 56, № 1. С. 79–110.
2. *URL:* <http://elan-optics.com/rus/9.html>

РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРА МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Н.А. Альперина, А.А. Большаков

*Акционерное общество «Научно-исследовательский институт точной механики», г. Санкт-Петербург, Россия
info@niitm.spb.ru*

Возрастающая потребность человечества оказывает негативное влияние на окружающую среду. Для компенсации этого влияния принимаются различные законы и программы как на государственном уровне, так и на международном, но для исполнения всех принятых решений требуется контроль большого количества различных параметров. АО «НИИ ТМ» поставило перед собой задачу разработки отечественного аналитического прибора мониторинга качества атмосферного воздуха, обладающего высоким быстродействием, селективностью и способным в автоматическом режиме собирать и передавать полученную информацию по проводным и беспроводным каналам связи.

Конструктивно аналитический прибор мониторинга качества атмосферного воздуха имеет блочно-модульное исполнение и состоит из следующих основных модулей и блоков, размещенных в общем корпусе: модуль мультигазовый сменный; измеритель аэрозольных частиц; блок подготовки газовой пробы к анализу, генератор «нулевого газа»; модуля питания, управления и передачи данных.

Результаты испытаний макета модуля мультигазового сменного показали, что поставленная задача может быть реализована с использованием отечественных материалов и на отечественной компонентной базе.

1. Тунакова Ю.А., Желовицкая А.В., Шагидуллина Р.А. Иванов Д.В. Экологический мониторинг: учеб. пособие. Казань: Изд-во «Отечество», 2014. 152 с.
2. Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю. Геоэкологический мониторинг: учеб. пособие для вузов. Томск, 2003. 336 с.
3. Евстапов А.А., Котов В.П., Муравьев Д.О., Курочкин В.Е. // Научное приборостроение 1999.

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

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В 83 И 84 РЕЙСАХ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

И.А. Круглинский¹, Д.М. Кабанов¹, В.В. Полькин¹, А.О. Почуфаров¹, С.М. Сакерин¹,
М.Д. Кравчишина², В.П. Шевченко²

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

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

В период с 20 июня по 24 августа 2021 г. проведен очередной цикл исследований характеристик атмосферного аэрозоля в 83 и 84 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш». Измерения проводились в четырех морях Северного Ледовитого океана: Карское, Баренцево, Норвежское и Гренландское. В докладе обсуждаются предварительные результаты пространственно-временной изменчивости оптических и микрофизических характеристик аэрозоля: аэрозольной оптической толщи (АОТ) и влагосодержания атмосферы, счетной концентрации частиц аэрозоля радиусом 0,2–5 мкм и массовой концентрации поглощающего вещества (черного углерода) в составе аэрозоля. Приводятся статистические характеристики аэрозоля для отдельных морских районов. Полученные результаты сопоставляются со средними многолетними данными предшествующих экспедиций [1, 2].

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-77-20025).

1. Sakerin S.M., Kabanov D.M., Kopeikin V.M., et al. Spatial distribution of black carbon concentrations over the North Atlantic and the seas of Northern Europe // Atmosphere. 2021. V. 12. P. 949. DOI: 10.3390/atmos12080949.
2. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Калашишкова Д.А. и др. Результаты измерений характеристик аэрозоля в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» на маршруте от Балтийского моря до Баренцева моря // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 7. С. 515–523. DOI: 10.15372/AOO20210705.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ И КОНЦЕНТРАЦИЙ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА НАД СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМИ ОКЕАНОМ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА MERRA-2

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

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

Из-за малочисленности результатов экспедиционных измерений характеристик аэрозоля в Арктической зоне все чаще используются данные спутниковых наблюдений в сочетании с модельными расчетами. Например, широкое распространение получили данные реанализа MERRA-2 [1], которые являются продуктом ассимиляции результатов измерений аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы (AERONET или спутниковых), моделей метеорологических полей, 3D-распределений различных типов аэрозоля и траекторий переноса переносов воздушных масс.

В настоящей работе, с использованием многолетних (2007–2020 гг.) данных реанализа MERRA-2 (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>), анализируются карты среднего пространственного распределения АОТ и концентраций черного углерода (M_{BC}) в Российском секторе Северного Ледовитого океана для отдельных месяцев года. Приводятся количественные оценки широтно-долготной изменчивости АОТ и M_{BC} в исследуемом регионе и сезон-

ной изменчивости для отдельных морей – от Баренцева до Чукотского. Проводится сопоставление данных модельных расчетов (MERRA-2) с результатами реальных измерений в морских экспедициях.

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

1. Gelaro R., McCarty W., Suárez M.J., et al. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2) // J. Climate. 2017. V. 30, N 14. P. 5419–5454. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ПО МАРШРУТУ 83 РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

О.И. Хуриганова¹, А.О. Почуфаров², С.М. Сакерин², М.Ю. Шиховцев¹,
Т.В. Ходжер¹, Л.П. Голобокова¹

¹Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

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

Обсуждаются результаты химического анализа (ионы, микроэлементы) атмосферного аэрозоля, собранного по маршруту 83 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» выполнялись с 20 июня по 4 июля 2020 г. Маршрут проходил, в основном, по акватории Карского моря вдоль архипелага Новая Земля. Наиболее высокие концентрации ионов определены в аэрозоле, собранном 24–25 июня при проведении гидрологических работ и 3–4 июля при прохождении судна вдоль Чешской губы до Белого моря. Суммарная концентрация ионов изменялась от 11,4 до 20,6 мкг/м³. В составе аэрозоля преобладали ионы морского происхождения Na⁺ и Cl⁻, а также отмечались повышенные концентрации NH₄⁺, Ca²⁺ и SO₄²⁻. Наиболее низкие концентрации ионов зафиксированы в аэрозоле, собранном 21–22 июня вдоль кромки льда и 28–30 июня в условиях тумана. Суммарная концентрация ионов изменялась в пределах 3,9–4,5 мкг/м³. В составе аэрозоля преобладали Na⁺, NH₄⁺ и Cl⁻. Среди микроэлементов в составе аэрозоля наиболее высокие концентрации были у элементов, наиболее распространенных в составе земной коры Fe, Al, Zn. Среди элементов антропогенного происхождения отмечались повышенные концентрации Ni, Cr, Cu, Pb, Sn. Наиболее высокая концентрация суммы микроэлементов наблюдалась в составе аэрозоля, собранного 25 июня при попадании выбросов из трубы судна на пробоотборное устройство и 27 июня в условиях выпадения мокрого снега.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 21-77-20025).

ОБЗОР ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ 2021 Г.

С.М. Сакерин

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

В сотрудничестве нескольких организаций (ИОА, ЛИН, ИХКГ, ИМКЭС СО РАН, ИО РАН и ААНИИ) ведутся многолетние исследования физико-химических характеристик аэрозоля в атмосфере Северного Ледовитого океана. В докладе представлен обзор работ выполненных в 2021 г.: измерения характеристик аэрозоля в двух морских экспедициях (83-й, 84-й рейсы НИС «Академик Мстислав Келдыш»), а также на полярных станциях в п. Баренцбург (арх. Шпицберген) и «Мысе Баранова» (арх. Северная Земля). Кроме результатов собственных измерений к анализу пространственно-временной изменчивости характеристик аэрозоля привлекались данные независимых измерений концентраций черного углерода и модельные данные реанализа MERRA-2. Обсуждаются планы экспедиционных исследований в 2022 г.

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АРКТИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ АЭТАЛОМЕТРОВ И РЕЖИМОВ ИЗМЕРЕНИЙ

А.О. Почуфаров, С.М. Сакерин, Ю.С. Турчинович

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

Институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН более 10 лет ведутся экспедиционные исследования аэрозоля в атмосфере Арктической зоны. В измерениях поглощающей компоненты аэрозоля (концентраций черного углерода) используются аэталометры МДА (разработка ИОА СО РАН) и АЕ-33 (Magee Scientific Co., USA), которые имеют конструктивные отличия и разные режимы измерений. Для проведения измерений в условиях фоновых (пороговых) концентраций черного углерода необходима проработка ряда методических вопросов, направленных на получение качественных и достоверных данных.

На основе результатов измерений концентраций черного углерода в 2021 г. в двух морских экспедициях (с борта НИС) и на полярной станции «Мыс Баранова», в докладе обсуждаются следующие вопросы: 1) результаты интеркалибровочных экспериментов – параллельных измерений концентраций двумя типами аэталометров; 2) отличия данных при разной продолжительности измерительных циклов и времени усреднения; 3) тестирование алгоритма фильтрации данных от ложных замеров, обусловленных техногенными воздействиями.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-77-20025).

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

С.А. Попова¹, Н.А. Онищук², Ф.А. Дарьин³, Д.С. Сороколетов³, О.И. Хуриганова²

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

²*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*

³*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия*
popova@kinetics.nsc.ru

Обсуждаются результаты межлабораторного сравнения определения элементов в составе атмосферных аэрозолей (АА). Содержание К, Са, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Pb в пробах определялось с помощью рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения [1] и спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой [2]. Для сравнения использовались образцы АА, отобранные в ходе морских экспедиций и на полярной станции «Мыс Баранова» в 2019 г. В докладе обсуждаются полученные результаты и влияние на них методики пробоотбора, используемой подложки, стандартных материалов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 21-77-20025).

1. Piminov P.A., Baranov G.N., Bogomyagkov A.V., Berkaev D.E., Borin V.M., Dorokhov V.L., Karnaev 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.

ОЦЕНКИ СЕЗОННОЙ И СИНОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОПТИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В РАЙОНЕ ПОЛЯРНОЙ СТАНЦИИ «МЫС БАРАНОВА» ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В 2018–2021 гг.

Д.Г. Чернов¹, Д.М. Кабанов¹, Ю.С. Турчинович¹, М.А. Лоскутова², Д.Д. Ризе²

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

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

В 2020–2021 гг. продолжены экспедиционные исследования оптических и микрофизических характеристик аэрозоля на научно исследовательской станции «Ледовая база «Мыс Баранова» (о-в Большевик, архипелаг Северная Земля). Измерения проводятся с 2018 г.: в первый год – только в период полярного дня (с апреля по сен-

тябрь); с апреля 2019 г. – непрерывно. В состав измеряемых характеристик входят: аэрозольная оптическая толщина и влагосодержание атмосферы, счетные концентрации частиц, массовые концентрации аэрозоля и поглощающего вещества (сажи) в составе аэрозоля. Измерения направлены на изучение динамики среднерегионального аэрозольного фона, а также влияния дальнего переноса аэрозольных загрязнений и воздействия местных источников. Контроль содержания в аэрозоле сажи используется для оценок воздействия антропогенных источников аэрозоля.

В докладе обсуждаются статистические характеристики аэрозоля и особенности их сезонной и синоптической изменчивости за весь период измерений.

Предварительная обработка данных до 2021 г. выполнялась в рамках государственного задания ИОА СО РАН, совместный анализ результатов проведен при поддержке РФФ (грант № 21-77-20025).

1. Сакерин С.М., Голобокова Л.П., Кабанов Д.М., Калашишкова Д.А., Козлов В.С., Круглинский И.А., Макаров В.И., Макшас А.П., Попова С.А., Радионов В.Ф., Симонова Г.В., Турчинович Ю.С., Ходжер Т.В., Хуриганова О.И., Чанкина О.В., Чернов Д.Г. Результаты измерений физико-химических характеристик атмосферного аэрозоля на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база “Мыс Баранова”» в 2018 г. // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 6. С. 421–429.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ НАД ЮЖНЫМ ОКЕАНОМ

Д.М. Кабанов¹, С.М. Сакерин¹, В.В. Польшкин¹, В.Ф. Радионов², Ю.С. Турчинович¹

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

²Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
dkab@iao.ru

С 2004 г. по маршруту судов Российских Антарктических экспедиций (РАЭ) ААНИИ совместно с ИОА СО РАН выполняются регулярные экспедиционные измерения характеристик аэрозоля: объемные концентрации мелких ($d = 0,3\text{--}1$ мкм) и крупных ($d > 1$ мкм) частиц, массовая концентрация в аэрозоле поглощающего вещества (сажи), аэрозольная оптическая толщина атмосферы и ее мелко- и грубодисперсная компоненты. В работе, на основе обобщения результатов 51–66 РАЭ (2004–2020 гг.) и данных реанализа MERRA-2 (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>), рассматриваются основные закономерности пространственно-временной изменчивости перечисленных характеристик в южной части Мирового океана (от берегов Африки до Антарктиды). Показывается, что в широтной зависимости характеристик аэрозоля можно выделить три участка: 1) незначительный спад при удалении от берегов Африки (~20–30%); 2) увеличение, при вхождении в зону сильных ветров и волнения моря (от 15 до 40%); 3) значительный спад при приближении к берегам Антарктиды (от 66 до 93%). Анализируются особенности межгодовой и сезонной изменчивости характеристик аэрозоля, а также результаты сопоставления судовых измерений с данными MERRA-2.

Обработка измерений проведена в рамках государственного задания ИОА СО РАН, анализ результатов выполнен при поддержке РФФ (грант № 21-77-20025).

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ, ИЗМЕРЕННЫХ В ЭКСПЕДИЦИЯХ В АКВАТОРИИ БЕЛОГО МОРЯ В 2003–2021 гг.

Вик.В. Польшкин, Ю.С. Турчинович

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

В акватории Белого моря, как части Северного ледовитого океана, проводились исследования микрофизических характеристик приводного аэрозоля в морских экспедициях 2003–2021 гг. Проводились измерения счетной концентрации частиц аэрозоля диаметром более 0,3 мкм (а в ранних экспедициях более 0,4 мкм) и содержания в аэрозоле поглощающего вещества («сажи»). Получено более тысячи среднечасовых данных за 62 дня в 2003–2007 гг. и около 120 среднечасовых данных за 13 дней в 2013–2021 гг.

В докладе проводятся сравнение характеристик, полученных в разный период времени и для двух районов Белого моря («центр» и «горло»). Анализируются усредненные значения характеристик измеренных в акватории Белого моря в сравнении с Баренцевым.

Исследования выполнялись при финансовой поддержке РФФ (соглашение № 21-77-20025).

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА
В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЙ «БАРЕНЦБУРГ»
И «МЫС БАРАНОВА» В 2019–2020 гг.**

**С.А. Попова¹, В.И. Макаров¹, Ю.С. Турчинович², Д.Д. Ризе³, М.А. Лоскутова³, О.Р. Сидорова³,
Ф.А. Дарьин⁴, Д.С. Сороколетов⁴, А.П. Константинов¹**

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

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

³*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия*

⁴*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

popova@kinetics.nsc.ru

Количественное содержание различных химических элементов в объектах окружающей среды (атмосфера, растения, почва и т.п.) позволяет оценить уровень и опасность загрязнения среды, а также определить источники их образования. В работе представлены результаты измерений элементного состава атмосферных аэрозолей (АА), отобранных на полярных станциях «Баренцбург» (арх. Шпицберген) и «Мыс Баранова» (о-в Большевик, арх. Северная Земля) с января 2019 г. по октябрь 2020 г. Для определения элементов в АА использовался рентгенофлуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения. На основании коэффициентов обогащения, рассчитанных по отношению концентраций химических элементов к содержанию их в земной коре, для аэрозолей п. Баренцбург были определены антропогенные элементы: Cr, Co, Cu, Zn, As, Se, Br, Mo, Pb с концентрациями в диапазоне 1–30 нг/м³ и почвенно-эрозийные: K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Rb, Sr, Y, Zr, Nb с концентрациями от 0,1 нг/м³ до нескольких сотен нг/м³. Отчетливых сезонных изменений концентраций не наблюдалось. Предполагаем, что источники аэрозолей носят локальный характер и связаны с жизнедеятельностью поселка. В элементном составе аэрозолей, отобранных на арктической станции «Мыс Баранова» наблюдается отчетливое увеличение концентраций антропогенных элементов: Cr, Co, Cu, Zn, As, Se, Br, Mo, Pb в период с конца ноября по март, что обусловлено дальним переносом с материковой части земли и совпадает с периодом образования Арктической дымки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 21-77-20025).

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНОЙ АТМОСФЕРЫ: МЕТОДЫ, АППАРАТУРА, ИССЛЕДОВАНИЯ»

КОРРЕКЦИЯ ЛИДАРНЫХ СИГНАЛОВ СИБИРСКОЙ ЛИДАРНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ПРИЕМЕ В АНАЛОГОВОМ И СЧЕТНОМ РЕЖИМАХ

В.И. Жарков, Н.Г. Зайцев, А.И. Надеев, Д.А. Трифонов

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

Проблема качественной регистрации лидарных сигналов, изменяющихся в широком динамическом диапазоне, не решена кардинально до настоящего времени. Фотоприемники по своей сути могут фиксировать сигнал в широком динамическом диапазоне. Например, для фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) максимального значения динамического диапазона можно достичь, если использовать совместно аналоговый и счетный режим регистрации. Приборы, обеспечивающие такой режим работы ФЭУ нашли широкое применение [1]. Авторами была разработана и изготовлена система комбинированной регистрации сигналов, выполнены как тестовые, так и реальные измерения на станции высотного зондирования в 2021 г.

В докладе представлены результаты расчетов коррекции сигнала счетного канала по предложенной методике. Для применения методики необходимо задать пороги для двух измеримых параметров, нормированной скорости счета в счетном канале и отношении сигнал-шум в аналоговом канале. Обсуждаются вопросы сравнения отношения среднеквадратичного отклонения к среднему значению для счетного и аналогового режимов приема.

Работа была поддержана бюджетными проектом ИОА СО РАН (№ 121031500341-3).

1. *TR40-16bit* 3U Lidar transient recorder, Licel GmbH, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin, Germany. URL: <http://www.licel.com/TRMech.pdf>.

НАБЛЮДЕНИЯ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЛАКАХ

Г.П. Коханенко, Ю.С. Балин, М.М. Новоселов

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

Приводятся результаты исследования горизонтальной ориентации кристаллических частиц, проведенные с помощью сканирующего поляризационного лидара ЛЮЗА-МЗ. В течение 2021 г. проведено несколько серий измерений структуры кристаллической облачности верхних ярусов в режиме зенитного сканирования. Зависимость интенсивности сигнала при небольших углах наклона (до 5°) отражает распределение отклонения частиц относительно горизонтальной плоскости и хорошо описывается экспоненциальной зависимостью. Сканирование до углов 45–50° показало высокую вероятность существования уголкового отражения в ледяных облаках.

НОВОЕ СЕМЕЙСТВО МОДУЛЕЙ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЛИДАРНЫХ СИГНАЛОВ

Н.Г. Зайцев

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

Для регистрации лидарных сигналов в аналоговом режиме и режиме счета фотонов разработано семейство модулей регистрации с обменом результатами измерений с ПК и управления режимом работы по сетевому интерфейсу.

Гибкая структура модулей позволяет легко адаптировать их к требованиям конечного потребителя:

- обмен и управление по сетевому интерфейсу (TCP клиент–сервер);
- расширение по числу каналов;
- скорость счета до 600 МГц;

- сопряжение с ФЭУ по TTL или LVDS уровням;
- в аналоговом режиме применение АЦП от 50 Mips до 250 mips (14-bit);
- регистрация сигналов с внешней синхронизацией от единиц Гц до 100 кГц;
- предварительная обработка сигналов в модуле регистрации;
- регистрация дополнительной информации (сигналы состояний внешнего оборудования и т.п.)
- управление внешним оборудованием при проведении эксперимента;
- синхронизация по TTL уровню или по оптическому каналу, один запуск на все каналы регистрации или независимые запуски на каждый из каналов.

В докладе обсуждаются вопросы разработки и изготовления модулей ввода/вывода, оптимизированных по критерию стоимости и тактико-техническим характеристикам. Приведены примеры выполненных разработок, перечислены основные проблемы, возникающие при выполнении таких работ.

Используемые при проектировании решения, связанные с применением отладочных комплектов фирмы Altera, Xilinx позволяют создавать модули ввода/вывода для работы в составе лидаров различного назначения.

ИНФОРМАТИВНОСТЬ СПОНТАННОГО КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ЛИДАРНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

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

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

На Байкале в августе и сентябре 2021 г. проведены измерения аэрозольных параметров рамановским лидаром. Система регистрирует сигналы, обусловленные упругим рассеянием на длинах волн $\lambda_{0j} = 532$ (поляризационные измерения), 1064 нм и комбинационным рассеянием на длинах волн $\lambda_{Ri} = 607$ (колебательно-вращательное КР) и 530 нм (чисто вращательное КР). Основная часть посвящена погрешностям оценивания оптической толщины, коэффициентов ослабления и обратного рассеяния для пограничного слоя, средней и верхней тропосферы, а также нижней стратосферы. Дополнительно показана возможность восстановления микрофизических характеристик, комплексного показателя преломления и интегральных параметров функции распределения частиц по размерам, с учетом указанной неопределенности оптических коэффициентов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-55-81001).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВРАЩАТЕЛЬНОГО РАМАНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ ПО ДАННЫМ ЗОНДИРОВАНИЯ ЛИДАРОМ «ЛОЗА-А2»

Ю.С. Балин, Г.П. Коханенко, М.Г. Клемашева, С.И. Насонов,
М.М. Новоселов, И.Э. Пеннер, С.В. Самойлова

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

Атмосферные аэрозоли влияют на радиационный баланс Земли, и соответствующее воздействие зависит от вертикального распределения их оптических характеристик (коэффициентов рассеяния, ослабления, оптической толщины). Многоволновые аэрозольно-рамановские лидары позволяют восстанавливать вертикальные профили этих характеристик. Наиболее распространенный в таких лидарных измерениях для оценки оптических свойств является метод колебательного комбинационного рассеяния на молекулах азота. Недостатки этого метода в низком сечении обратного рассеяния (требуется длительное время для накопления полезного сигнала) и значительным частотным сдвигом рамановской колебательной компоненты (требуется показатель Ангстрема, который может быть значительным источником неопределенности). Эти проблемы решаются за счет использования чисто вращательного рамановского рассеяния, который характеризуется более высоким (больше чем на порядок) сечением обратного рассеяния, и значительно меньшим сдвигом частоты, что практически убирает зависимость от показателя от Ангстрема. В докладе представлена практическая реализация вращательных рамановских измерений в лидаре «ЛОЗА-А2» для получения вертикальных профилей оптической толщи атмосферы.

УПРАВЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ ЛАВИННОГО ФОТОДИОДА

А.А. Рябинин

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
ryabinin97@bk.ru*

Расширение динамического диапазона при приеме лидарных сигналов остается актуальной проблемой, несмотря на многочисленные попытки ее решения. Концептуально данную проблему можно расчленить на две части: управление коэффициентом усиления фотодетектора и управление усилением электронного тракта, при усилении сигнала фотодетектора. Согласно описанию на лавинный фотодиод [1] предельные значения прямого и обратного тока ограничены, прямой ток – 5 мА, обратный ток – 0,2 мА. Таким образом, при включении фотодиода с обратным смещением, ток через данный фотодиод не должен превышать 0,2 мА. Превышение этих величин в результате чрезмерной интенсивности облучения кристалла диода вызывает искажение полезного сигнала. Величина обратного тока зависит от коэффициента лавинного умножения, определяемого в свою очередь величиной управляемого обратного смещения.

В докладе обоснована возможность электронного управления коэффициентом усиления лавинного фотодиода, оценен диапазон изменения коэффициента в зависимости от величины обратного смещения. Предложено схмотехническое решение, позволяющее с большой скоростью изменять напряжение смещения фотодиода для оперативного управления коэффициентом усиления с целью регулирования тока сигнала непосредственно по трассе зондирования.

1. *TE-cooled NIR enhanced large area Si APD, C30956EH-TC.pdf.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРИЕНТИРОВАННЫХ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ЗАДАЧ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЛИДАРНОГО СИГНАЛА

А.В. Коношонкин^{1,2}, В.А. Шишко^{1,2}, Д.Н. Тимофеев¹, Н.В. Кустова¹, А.Г. Боровой^{1,2}, Н.В. Кан¹

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

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
a.kon@iao.ru*

При исследовании микрофизических свойств несферических атмосферных аэрозольных частиц оптическими методами необходимо учитывать влияние их пространственной ориентации на характеристики рассеянного излучения. Наиболее наглядным примером атмосферных частиц, имеющих выраженную пространственную ориентацию, являются ледяные кристаллы перистых облаков. Поскольку такие частицы по своим размерам, как правило, значительно превосходят длину волны лазерного излучения атмосферных лидаров, то решение задачи рассеяния света в направлении рассеяния назад удастся получить только в рамках метода физической оптики.

В докладе представлено решение задачи рассеяния света на несферических атмосферных частицах, при их преимущественной пространственной ориентации в облаке. Размеры частиц варьировались в диапазоне 0,05–1000 мкм. Мелкая фракция частиц рассчитывалась с применением метода дискретных диполей, крупная фракция – в рамках приближения физической оптики. Решение представлено в виде матрицы обратного рассеяния света, на основании которой рассчитаны лидарное и деполяризационное отношение. Решение выполнено для трех длин волн: 0,355, 0,532 и 1,064 мкм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 21-77-10089).

МОДЕРНИЗАЦИЯ МОДУЛЯ НА ОСНОВЕ ЛАВИННОГО ФОТОДИОДА

Е.С. Шевцов

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

Для детектирования слабого рассеянного излучения в лидарных системах работающих на длине волны 1,064 мкм, сотрудниками отделения лазерного зондирования ИОА СО РАН был разработан фотоприемный мо-

дуль на основе лавинного фотодиода С30956ЕН-ТС. При отладке и в процессе эксплуатации этого устройства был выявлен ряд таких моментов как: сложность отладки системы, отсутствие возможности изменения коэффициента усиления сигнала, сложность настройки некоторых схемотехнических узлов, низкие показатели ЭМС драйвера модуля Пельтье и источника высокого напряжения ухудшающие качество работы детектора.

Для устранения этих и других замечаний было принято решение перепроектировать устройство, при этом, сделав его модульным. Разбивка устройства на отдельные самостоятельные модули, такие как: источник высокого напряжения, драйвер модуля Пельтье, источник питания собственных нужд, модуль регистрации-усиления: позволит сократить время разработки и упростить отладку устройства.

1. *Шевцов Е.С.* Разработка семейства фотоприемных устройств для ближнего инфракрасного диапазона // Сб. научных трудов «XXIII рабочая группа “Аэрозоли Сибири”». Томск: ИОА СО РАН, 2016.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ В СЛУЧАЙНЫХ СРЕДАХ»

ТРЕБОВАНИЯ К ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СИСТЕМ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ

В.П. Лукин

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

Анализируются динамические характеристики систем адаптивной оптики, работающих через турбулентную атмосферу. Используется аналитический расчет параметра Штреля на основе обобщенного принципа Гюйгенса–Кирхгофа. При анализе используется модель активного зеркала-корректора. В докладе поставлен вопрос с чего начинается построение системы АО? Естественно с формулирования задачи решаемой самой оптико-электронной системы, в то время как задача системы АО может быть сформулирована как достижение определенного уровня параметра Штреля. При анализе применяются два критерия качества:

– так называемый, критерий Релея, который заключается в том, что если величина волновой аберрации не превосходит четверти длины волны, то параметр Штреля будет не менее 0,8, однако расчеты показывают, что не для всех типов аберраций это оказывается справедливым;

– также был рассмотрен более строгий, так называемый, допуск Марешаля, согласно которого для малых аберраций параметр Штреля рассчитывается через дисперсию остаточных волновых аберраций, выраженную в долях длины волны.

Традиционная система адаптивной оптики (АО) с конечным временем срабатывания описывается как динамическая система постоянного запаздывания. В такой системе допустимая временная задержка оказывается сравнима со временем переноса турбулентных неоднородностей через радиус когерентности средней скорости ветра. Получено выражение, связывающее в одной формуле, все важнейшие параметры системы: точность и частоту работы датчика волнового фронта, размер апертуры оптической системы, параметры атмосферы: параметр Фрида и скорость ветра с достижимым уровнем по параметру Штреля. Анализируются различия между двумя типами контуров слежения в системах АО: открытым и замкнутым контурами.

СРАВНЕНИЕ ЛЕТНИХ И ЗИМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕОРИИ ПОДОБИЯ МОНИНА–ОБУХОВА АНИЗОТРОПНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

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*

Представлены результаты длительных наблюдений характеристик турбулентной атмосферы теории подобия Монина–Обухова в анизотропном пограничном слое в летний и зимний периоды в условиях городской среды с использованием ультразвуковой станции АМК-03-4. Проведено сравнение новых полученных в летний и зимний периоды 2020 г. данных и сравнение с данными предыдущих наблюдений в различные времена года, в различных климатических и географических регионах.

Зарегистрировано возрастание интенсивности атмосферной турбулентности в зимнее время измерений и при понижении температуры. Среднее значение структурной характеристики C_n^2 зимой почти вдвое больше средних летних значений и при понижении температуры в мороз до -30°C увеличивается еще примерно в 2 раза. Такое поведение характеристики C_n^2 противоречит обычному (например, суточному ходу C_n^2), когда при более низких температурах средние значения C_n^2 наоборот снижаются.

Получены данные зимних измерений для турбулентных масштабов температуры T_* и скорости V_* , являющихся важными характеристиками турбулентности в теории подобия Монина–Обухова. Подтверждено, что

зимой, как и летом, зарегистрированные данные для турбулентных масштабов $V_*(\zeta)$ и $T_*(\zeta)$ устойчиво группируются возле определенных полученных на основе полуэмпирической теории сглаженных зависимостей от числа Монина–Обухова ζ . Зарегистрированное зимой при устойчивой стратификации среднее значение масштаба T_* примерно в 2–4 раза меньше, чем в летних наблюдениях.

Расширен диапазон экспериментально наблюдаемых чисел Монина–Обухова в положительной области, где ранее экспериментальные данные отсутствовали. В условиях городской среды в зимних измерениях максимальные значения числа Монина–Обухова ζ в положительной области изменения ζ существенно (на порядок) больше (а летом еще на порядок больше), чем ранее наблюдавшиеся наибольшие положительные значения ζ в горах.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (№ АААА-А17–117021310146-3).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ 2018–2019 гг. ДЛЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ МАСШТАБОВ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ МОНИНА–ОБУХОВА В ГОРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

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 новые результаты измерений характеристик турбулентной атмосферы в горных условиях Саянской солнечной обсерватории. Результаты получены в процессе длительных наблюдений в 2018–2019 гг. Проведено сравнение полученных экспериментальных данных с данными ранних многолетних наблюдений над территориями высокогорных обсерваторий в условиях разных рельефов, в различные времена года, в различных климатических и географических регионах. Для измерений использован новый мобильный аппаратно-программный ультразвуковой комплекс АМК-03-4, разработанный для измерения характеристик турбулентных метеополей. Получены экспериментальные данные для турбулентных масштабов скорости V_* (скорость трения) и температуры T_* , являющихся важными характеристиками турбулентности в теории подобия Монина–Обухова. Сравнение новых данных 2018–2019 гг. с данными ранних наблюдений подтверждает экспериментальные зависимости для турбулентных масштабов скорости $V_*(\zeta)$ и температуры $T_*(\zeta)$ от изменяющегося числа Монина–Обухова ζ в соответствии с теоретическими выводами авторов для слабо анизотропного пограничного слоя. Сравнение новых данных 2018–2019 гг. с данными ранних наблюдений подтверждает положения теории подобия в анизотропном атмосферном пограничном слое. Полученные данные полезны для прогноза характеристик турбулентности в горных регионах. Существенно расширен диапазон экспериментально наблюдаемых чисел Монина–Обухова в положительной области, где ранее экспериментальные данные отсутствовали.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (№ АААА-А17–117021310146-3).

АСТРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРНОГО И ГОРОДСКОГО ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЫ

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*

В условиях городской среды томского Академгородка проведены длительные наблюдения основных характеристик турбулентной атмосферы в теории подобия Монина–Обухова. Для измерений использовалась мобильная ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения характеристик турбулентных метеополей (астроклимата). Проведено сравнение полученных в условиях городской среды данных с данными многолетних наблюдений в условиях горного рельефа, в различных климатических и географических регионах.

В условиях города получены данные для турбулентных масштабов скорости V_* (скорость трения) и температуры T_* , являющихся важными характеристиками теории подобия Монина–Обухова. Подтверждено, что в условиях городской среды, также как и в горах, значения масштабов скорости $V_*(\zeta)$ и температуры $T_*(\zeta)$ устойчиво группируются возле асимптотических зависимостей от изменяющегося числа Монина–Обухова ζ , полученных на основе полуэмпирической теории.

Существенно расширен диапазон экспериментально наблюдаемых чисел Монина–Обухова в положительной области $-227 \leq \zeta \leq +72572$, где ранее экспериментальные данные отсутствовали. При положительных значениях ζ в городских летних измерениях зарегистрированный средний турбулентный масштаб T_* в 2–3 раза меньше, чем в горах.

Зарегистрированная в длительных летних наблюдениях интенсивность атмосферной турбулентности при направлениях ветра со стороны городской застройки (и равнинной местности за городом) в 2–3 раза выше, чем при ветре с других направлений (в том числе со стороны гор с юга и юга-востока). Зарегистрировано выделенное, связанное с рельефными особенностями места (преимущественно юго-восточное и северо-западное) направление среднего ветра летом.

К основным результатам настоящей работы можно отнести экспериментальное подтверждение положений теории подобия в городском атмосферном пограничном слое.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (№ АААА-А17–117021310146-3).

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ ПОДОБИЯ В ТЕОРИИ МОНИНА–ОБУХОВА В УСТОЙЧИВОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

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*

В условиях городской среды томского Академгородка проведены длительные наблюдения основных характеристик турбулентной атмосферы в теории подобия Монина–Обухова. Эти измерения являются продолжением предыдущих исследований авторов, посвященных экспериментальному изучению пространственных производных средних характеристик атмосферной турбулентности над территориями горных обсерваторий.

Применение в теории Монина–Обухова универсальной функции подобия $\phi(\zeta)$ позволяет с единых позиций описать турбулентные течения в различных температурных стратификациях (безразличная, устойчивая и неустойчивая). В теории подобия функцией $\phi(\zeta)$ (в зависимости от значения ее аргумента ζ – числа Монина–Обухова) задается тип температурной стратификации турбулентной атмосферы. Теория подобия обычно используется для прогноза характеристик турбулентности при распространении электромагнитных волн в турбулентной атмосфере. Важные характеристики турбулентной атмосферы, такие как C_n^2 (интенсивность турбулентности), внешний L_0 и внутренний l_0 масштабы турбулентности, напрямую определяются через основные характеристики теории подобия Монина–Обухова: турбулентные масштабы полей скорости V_* и температуры T_* и числа Монина–Обухова ζ .

Для измерений использовалась мобильная ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения статистических характеристик различных метеополей (астроклимата) в турбулентной атмосфере и их пространственных производных.

В работе представлены новые 2020 г. результаты измерений вертикальных производных средней температуры и средней скорости горизонтального ветра в турбулентной атмосфере пограничного слоя. В измерениях в городском приземном слое турбулентной атмосферы существенно расширен диапазон экспериментально наблюдаемых чисел Монина–Обухова $-227 \leq \zeta \leq +72572$ в положительной области, где ранее экспериментальные данные отсутствовали. Это позволило на основе полученных новых необходимых характеристик восстановить эмпирический вид функции $\phi(\zeta)$ при сверхсильной устойчивой стратификации в интервале $+1 \leq \zeta \leq +72572$. Выполненные в настоящей работе комплексные исследования функции подобия (на основе данных измерений 2020 г.), можно рассматривать как новый значимый результат в теории подобия Монина–Обухова.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (№ АААА-А17–117021310146-3).

ОБЗОР ОТКЛОНЕНИЙ СПЕКТРОВ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ОТ ТЕОРИИ КОЛМОГорова–ОБУХОВА

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*

Теория турбулентности Колмогорова–Обухова объясняет большое число закономерностей турбулентного движения и является общепринятой и широко распространенной в оптических расчетах и экспериментальных исследованиях. Вытекающие из нее предсказания хорошо отражают многие реальные черты локальной структуры развитой турбулентности и подтверждаются экспериментами.

В настоящей работе представлен краткий обзор научной литературы с зарегистрированными отклонениями спектров атмосферной турбулентности от предсказаний теории. Представлен краткий обзор литературы с объяснениями отклонений.

Сделаны выводы, что перечисленные факты отклонений с наклонами, близкими к $-2,7$ ($-2,8$; $-3,0$ и т.п., $-8/3 \approx -2,67$), можно интерпретировать, как соответствующие условиям когерентной турбулентности, для чего приведено объяснение с позиций теории когерентной турбулентности: одномерный временной частотный спектр флуктуаций температуры в инерционном интервале в когерентной турбулентности имеет наклон « $-8/3$ »; реальная атмосферная турбулентность есть некогерентная смесь различных когерентных структур с различными внешними масштабами турбулентности, а инерционный интервал спектра колмогоровской турбулентности с наклоном « $-5/3$ » является верхней огибающей суммы всех спектров разных когерентных структур с различными величинами внешних масштабов.

Таким образом, результаты авторов фактически являются доказательством гипотезы Э. Хопфа (1948) о конечности аттракторов в фазовом пространстве решений уравнений Навье–Стокса, физической расшифровкой которой является представление Монина–Яглома (1991, 1992) о структуре турбулентности как о пространственно-временном хаосе конечного числа взаимодействующих когерентных структур.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН и частично поддержана ГК «Росатом» (по НИР «Численное исследование процессов возникновения и развития неколмогоровской турбулентности на основе решений уравнений Навье–Стокса») в рамках научной программы Национального центра физики и математики.

ФАЗОВАЯ КОРРЕКЦИЯ КОГЕРЕНТНЫХ ЛАГЕРР-ГАУССОВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В УСЛОВИЯХ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

В.А. Сенников, П.А. Коняев, В.П. Лукин

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
wsen2029@mail.ru*

Методом компьютерного моделирования решается задача оценки искажений когерентных лаггерр-гауссовых сингулярных световых пучков при их распространении в случайно-неоднородной среде атмосферного типа. Применяются методы предварительной адаптивной фазово-сопряженной коррекции этих пучков при использовании световой волны от опорного источника-бакена. 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.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХ АДАПТИВНЫХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ ИСПРАВЛЕНИЯ АББЕРАЦИЙ ВОЛНОВОГО ФРОНТА

А.Н. Боршевников¹, Д.А. Дементьев¹, Е.В. Леонов¹, Д.М. Ляхов¹, Г.Н. Сохарева¹,
А.В. Черных¹, Ю.И. Шанин¹, В.И. Щипалкин¹

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт Научно-производственное объединение “ЛУЧ”»,
г. Подольск, Московская обл., Россия
evleonov@luch.com.ru

Эффективность работы адаптивных оптических систем, предназначенных для компенсации фазовых искажений излучения на турбулентных трассах, повышают путем введения двух деформируемых зеркал (корректоров) [1]. Одно деформируемое зеркало исправляет низкие временные (единицы и десятки герц) и малые пространственные частоты с большими перемещениями поверхности зеркала для компенсации аббераций низких порядков. При этом второе зеркало с разрешением высоких пространственных частот (десятки и сотни герц) лучше компенсирует абберации высоких порядков при перемещениях зеркала примерно на порядок меньших, чем для низких частот.

Нами экспериментально исследовалась возможность использования в адаптивной оптической системе одного корректора для компенсации дефокусировки и астигматизма и другого корректора для компенсации более высоких порядков оптических аббераций [2].

Для предотвращения работы корректоров друг против друга они спроектированы и изготовлены с выполнением требования обеспечения взаимной ортогональности пространств корректоров. Датчик интенсивности устанавливался для оценки качества коррекции волнового фронта по размеру фокального пятна. В экспериментах испытаны два датчика волнового фронта для установления влияния на качество управления различного количества точек на гартманограмме. В процессе работы адаптивная оптическая система компенсировала искусственно наведенные абберации в статическом режиме как без обратной связи, так и с ней. При работе с обратной связью сперва исследован способ управления так называемым «длинным зеркалом», когда управляющие напряжения подавались на оба корректора, а также вариант с разделением идущего на зеркала сигнала. Первый вариант обеспечивал параллельное управление деформируемыми зеркалами, второй способ выполнял последовательное управление корректорами низкого и высокого пространственного разрешения. При этом накапливаемая в первом корректоре ошибка передавалась второму корректору, в результате чего процесс управления замедлялся.

1. Perez J.J. Adaptive control of woofer-tweeter adaptive optics // Thesis. Air Force Institute of Technology. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. March 2009. 82 s.
2. Боршевников А.Н., Дементьев Д.А., Леонов Е.В. и др. Управление адаптивной оптической системой с деформируемыми зеркалами низкого и высокого пространственных разрешений // Автометрия. 2018. Т. 54, № 3. С. 119–125. DOI: 10.15372/AUT20180315.

РАСЧЕТ ФУНКЦИЙ ОТКЛИКА У ТРЕХ ТИПОВ КРУГЛЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ: СО СТЕРЖНЕВЫМИ ПЬЕЗОПРИВОДАМИ, МОНОМОРФНЫХ И МЕМБРАННЫХ МЭМС

Д.А. Ягнятинский, В.Н. Федосеев

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт Научно-производственное объединение “ЛУЧ”»,
г. Подольск, Московская обл., Россия
day@luch.com.ru

Принципы работы деформируемых зеркал (ДЗ) для задач адаптивной оптики весьма разнообразны. Среди немалого числа типов ДЗ наиболее распространены зеркала с массивом стержневых приводов, биморфные/мономорфные зеркала и МЭМС-зеркала [0]. При изменении подаваемого электрического напряжения стержневые приводы деформируются в продольном направлении, вызывая поперечный прогиб подложки зеркала. Биморфные/мономорфные зеркала работают на основе поперечного пьезоэффекта. Деформируемые МЭМС-зеркала (рассмотрим мембранные зеркала) представляют собой устройство с натянутой заземленной мембраной, изгиб которой осуществляется под действием электростатического поля со стороны расположенных параллельно, через малый зазор, электродов.

На этапах проектирования и оптимизации конструкции ДЗ необходимо рассчитывать их функции отклика при подаче заданного управляющего напряжения. Для этого используют либо численный подход – метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет учесть все особенности рассматриваемой конструкции, либо аналитический подход – при моделировании работы деформируемых зеркал в алгоритмах управления для адаптивных оптических систем, а также при оптимизации числа и плана расположения приводов на апертуре зеркала. «НИИ НПО “ЛУЧ”» владеет аналитическим методом для расчета функций отклика ДЗ на стержневых пьезоприводах, а также МКЭ, реализованном в программном комплексе ANSYS, для расчета функций отклика у всех указанных выше типов ДЗ. Методы расчета верифицированы на тестовых примерах.

1. *Madec P.Y.* Overview of Deformable Mirror Technologies for Adaptive Optics and Astronomy // Proc. SPIE. 2012. V. 8447, N 844705. P. 1–18.

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА РАЗНЫХ ВЫСОТАХ: МНОГООБЪЕКТНЫЙ ПОДХОД В АДАПТИВНОЙ ОПТИКЕ

П.Г. Ковадло¹, А.Ю. Шиховцев¹, В.П. Лукин², А.В. Киселев¹, М.Ю. Шиховцев¹

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*

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

Рассмотрен метод определения турбулентных характеристик атмосферной турбулентности по данным измерений датчика Шэка–Гармана. Предложен физический подход для учета низкочастотных составляющих фазовых искажений (аббераций), являющихся результатом воздействия разных атмосферных турбулентных слоев.

ОБРАЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ ПРИ ЗАДАНИИ ФАЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛИНОМАМИ ЦЕРНИКЕ

И.Д. Веретехин, Н.М. Макенова, Ф.Ю. Канев

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

tna@iao.ru

Особые точки, появляющиеся в волновом фронте распространяющегося в атмосфере пучка, приводят к снижению эффективности адаптивной коррекции турбулентных искажений [1]. Для анализа проблем, обусловленных данными свойствами излучения, нами были определены условия зарождения оптических вихрей. Исследование проводилось на основе методов численного эксперимента. В модельных задачах фаза излучения задавалась непрерывными функциями, сформированными как отдельными полиномами Цернике так и комбинациями полиномов. Для повышения достоверности были использованы три алгоритма регистрации особых точек, построенных на различных принципах. Анализ амплитудного и фазового распределения пучка в нескольких поперечных к направлению распространения плоскостях позволил определить условия возникновения разрывов фазового профиля, характерных для волнового фронта, включающего оптические вихри.

1. *Fried D.L.* Branch point problem in adaptive optics // J. Opt. Soc. Am. A. 1998. V. 15, N 10. P. 2759–2767.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ, ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВЕТРОВЫХ ПОЛЕЙ В АТМОСФЕРЕ»

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВЫХ И ВИХРЕВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ НА ЛОКАЦИОННЫХ ТРАССАХ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Д.С. Рычков

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

Представлены результаты численного моделирования методом расщепления по физическим характеристикам распространения кольцевых и вихревых лазерных пучков на трассе в атмосфере с отражением от зеркальной и диффузной мишеней в условиях умеренной оптической турбулентности. Оценены влияние фазовой дислокации и формы распределения интенсивности начального распределения поля на радиус когерентности поля (в случае зеркальной мишени), радиус корреляции средней интенсивности (для диффузной мишени) и дисперсию флуктуаций интенсивности обратно рассеянной волны в плоскости приема и в фокальной плоскости телескопа в сравнении с гауссовым пучком, плоской и сферической волнами.

ТРАССОВЫЙ ПАССИВНЫЙ СЦИНТИЛЛОМЕТР

А.П. Ростов

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

Разработан работающий макет бюджетного трассового сцинтиллометра (измерителя атмосферной турбулентности).

Известны трассовые измерители атмосферной турбулентности [1, 2]. В этих приборах традиционно используется активный метод измерения, основанный на просвечивании атмосферы электромагнитным излучением [3]. В основном оптического или ближнего ИК-диапазонов. Эти приборы не дешевы.

В представленном здесь макете пассивного сцинтиллометра используется пассивный метод наблюдения за флуктуациями оптического центра наблюдаемого объекта в горизонтальной плоскости.

В состав входит оптическая и электронная части. Оптическая часть содержит 1 линзу с фокусным расстоянием 1 м и линейку из 128 фотодиодов, электронная – один микроконтроллер AVR архитектуры с интерфейсом USB.

1. URL: <https://scintec.com/english/web/Scintec/>
2. URL: <https://www.campbellsci.ca/las>
3. *Татарский В.И.* Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967. 548 с.

ОЦЕНКА РАСПЕРЕДЕЛЕНИЙ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ИЗ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Д.А. Маракасов, А.А. Сухарев

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

Представлены результаты лазерного просвечивания сверхзвуковой недорасширенной струи, формируемой на струйном модуле ВСУ ИТПМ СО РАН и ударной волны, обусловленной обтеканием модельного тела обдуваемого в АТ Т-313 ИТПМ СО РАН. Регистрировались искажения волнового фронта лазерного пучка линейкой позиционно-чувствительных фотодетекторов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ВЕРСИЯ ИМПУЛЬСНОГО КОГЕРЕНТНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ЛИДАРА, РАЗРАБОТАННОГО В ИОА СО РАН

А.М. Шерстобитов^{1,2}, В.А. Банах¹, И.А. Разенков¹, И.Н. Смалихо¹, А.В. Фалиц¹,
Р.М. Махманазаров^{1,2}, Е.В. Гордеев¹

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

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*
shrarm@iao.ru

В настоящее время наиболее эффективным техническим средством для зондирования ветровых полей в пограничном слое атмосферы является импульсный когерентный доплеровский лидар (ИКДЛ). Использование в эксперименте одновременно 2-х и более ИКДЛ значительно расширяет возможности исследования ветровой турбулентности, внутренних гравитационных волн и когерентных вихревых структур (включая самолетные вихри или шлейфы ветровых турбин). В 2018 г. в Лаборатории распространения волн ИОА СО РАН был создан макет ИКДЛ [1]. После усовершенствования этого лидара, который сейчас способен работать без сбоев в любых атмосферных условиях, появилась возможность его применения в экспериментах, совместных с имеющимся у нас ИКДЛ Stream Line (производство фирмы HALO Photonics, Великобритания). В докладе дается описание усовершенствованного ИКДЛ (разработка ИОА СО РАН) и представлены результаты совместных со Stream Line лидаром измерений, проведенных на Базовом экспериментальном комплексе ИОА СО РАН.

1. Sherstobitov A., Razenkov I., Smalikhov I., Banakh V., Nadeev A., Falits A. Development of an all-fiber coherent Doppler lidar in the IAO SB RAS // Proc. 29th Inter. Laser Radar Conf. 2019. Water Vapor and Temperature Measurements.pdf. P. 6–32.

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА (0,63 мкм) В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ПРИ ОБЛАЧНОСТИ

Н.А. Вострецов

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

Приведены результаты исследования распределений плотности вероятностей флуктуаций интенсивности рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка (0,63 мкм) в приземной атмосфере при облачности без атмосферных осадков на трассе длиной 130 м.

Установлено, что распределения плотности вероятностей одномодальны (имеют один максимум). Распределения право асимметричны. Форма распределений зависит от нормированной дисперсии флуктуаций интенсивности рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка. Коэффициенты асимметрии и эксцесса распределений увеличиваются с ростом нормированной дисперсии флуктуаций интенсивности, т.е. распределения становятся более асимметричными и более островершинными при увеличении нормированной дисперсии флуктуаций интенсивности. Форма распределений не зависит от скорости ветра и ее перпендикулярной составляющей к трассе при близких атмосферных условиях. Большинство экспериментальных распределений плотности вероятностей аппроксимируются гамма-распределением.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ C_n^2 ТУРБУЛЕНТНЫМ ЛИДАРОМ

И.А. Разенков

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

Турбулентный лидар работает на эффекте увеличения обратного рассеяния (УОР), благодаря которому при распространении волны в турбулентной атмосфере наблюдается повышение интенсивности рассеянного обратно излучения на оси лазерного пучка [1]. В настоящее время не существует точного решения обратной задачи определения структурной характеристики коэффициента преломления C_n^2 из лидарных данных. На практике приходится использовать приближение для статистически однородной атмосферы [2]. При этом предполагается, что основной вклад в эффект УОР дает участок трассы, который расположен вплотную к рассеивающему объему [3]. Такой подход позволяет получать физически приемлемое решение, но, очевидно, что не свободен от ошибок. Кроме того, при увеличении турбулентной толщи среды имеет место эффект насыщения флуктуаций интенсивности, который приводит к занижению оценки C_n^2 , если дальность зондирования превышает несколько километров.

Кроме методических погрешностей имеют место ошибки инструментальные, в частности, связанные с процедурой калибровки турбулентного лидара, которая не является тривиальной, а состоит из нескольких последовательных процедур, которые позволяют учесть нелинейность, последствие и чувствительность фотоприемников. В работе обозначенные вопросы рассмотрены, но, возможно, не в полной мере.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

1. Гурвич А.С. Лидарное зондирование турбулентности на основе усиления обратного рассеяния // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2012. Т. 48, № 6. С. 655–665.
2. Воробьев В.В. О применимости асимптотических формул восстановления параметров «оптической» турбулентности из данных импульсного лидарного зондирования. I. Уравнения // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 10. С. 870–875.
3. Разенков И.А. Оценка интенсивности турбулентности из лидарных данных // Оптика атмосф. и океана. 2020. Т. 33, № 1. С. 1–9.

ЭФФЕКТ УСИЛЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА КОЛЬЦЕВОЙ НАЧАЛЬНОЙ АПЕРТУРЫ

В.А. Банах, А.В. Фалиц

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

Представлены результаты численного моделирования эффекта усиления обратного рассеяния при распространении лазерных пучков с кольцевым начальным распределением интенсивности на локационных трассах в турбулентной атмосфере.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НАД НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Л.О. Герасимова

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

Представлены результаты по определению уровня турбулентности над нагретой металлической поверхностью в режиме слабых флуктуаций интенсивности лазерного пучка. По полученным структурной функции и спектру флуктуаций температуры построена модель распространения пучка в созданной нагретой поверхностью среде.

ДВУМАСШТАБНОЕ СПАДАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА, ПРОСВЕЧИВАЮЩЕГО МОДЕЛЬ ОГНЕННОГО СМЕРЧА

М.В. Шерстобитов¹, В.М. Сазанович¹, Р.Ш. Цвык¹, Д.И. Панов²

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

Физическое моделирование огненного смерча осуществлялось при взаимодействии винтообразно закрученного восходящего воздушного потока с пламенем этанола в неподвижной емкости на оси потока. Лазерный пучок пересекал модель огненного смерча горизонтально. Проводилась серия экспериментов на нескольких высотах тремя ФЭУ. Рассчитывались частотные спектральные функции пульсаций лазерного сигнала из временных пульсаций сигнала.

Проведен анализ характера спада спектров спектральных функций в высокочастотном диапазоне. Установлено, что, в основном, упомянутое падение имеет двумасштабную форму.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ГАЗОВ И АЭРОЗОЛЕЙ В АТМОСФЕРУ ОТ МОДЕЛЬНОГО ОЧАГА ПРИРОДНОГО ПОЖАРА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И ПРОЦЕССЫ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА

Е.Л. Лобода^{1,2}, Д.П. Касымов^{1,2}, М.В. Агафонцев^{1,2}, В.В. Рейно², Е.В. Гордеев², Ю.А. Лобода^{1,2}, П.С. Мартынов^{1,2}, К.Е. Орлов¹, В.В. Перминов¹, А.В. Луценко^{1,2}, А.А. Старосельцева¹, М.Ю. Аршинов², А.Л. Афанасьев², Д.А. Маракасов²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

loboda@mail.tsu.ru, denkasymov@gmail.com, kim75mva@gmail.com, reyno@iao.ru

Лесные пожары ежегодно оказывают большое влияние как на растительный мир, так и на состав воздуха, за счет выброса в атмосферу огромного количества продуктов горения (газов и аэрозолей) [1, 2]. Количественная оценка продуктов горения при пожарах сильно зависит от точности определения характеристик сгоревшей области, а рассеивание и распространение дымового облака в свою очередь сильно зависит местных метеоусловий. В настоящей работе представлены результаты полунатурных экспериментальных исследований модельного полевого пожара. В результате проведенных измерений была получена оценка энергетических характеристик фронта пламени, аэрозольного состава воздуха на контрольных участках вблизи основной зоны горения, изменение концентраций CO₂ и CH₄, а также проведен анализ метеоданных и характеристик турбулентности в атмосфере в окрестности эксперимента.

1. Kochanski A.K., Fournier A., Mandel J. Experimental design of a prescribed burn instrumentation // Atmosphere. 2018. V. 296, iss. 9. P. 1–34. DOI: 10.3390/atmos9080296.

2. Urbanski S.P., Hao W.M., Nordgren B. The wildland fire emission inventory: Western United States emission estimates and an evaluation of uncertainty // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11. P. 12973–13000. DOI: 10.5194/acp-11-12973-2011.

НЕОДНОРОДНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩАЯ В ЧАСТИЧНО КОГЕРЕНТНОМ БЕССЕЛЕВОМ ПУЧКЕ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

И.П. Лукин

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

lulin_ip@iao.ru

Проведено теоретическое исследование характерных особенностей распределения когерентности в поперечном сечении частично когерентного бесселева оптического пучка, распространяющегося в однородной среде. Анализ задачи основывается на выражении для поперечной функции взаимной когерентности второго порядка поля бесселева пучка оптического излучения, полученном в параксиальном приближении с использованием принципа Гюйгенса–Френеля. Рассматривались следующие характеристики когерентности бесселевых

оптических пучков: степень когерентности, радиус когерентности и интегральный масштаб степени когерентности. Изучена зависимость этих величин от параметров оптического излучения и характеристик случайных неоднородностей источника оптического излучения.

Обнаружено, что поскольку бесселев пучок обладает свойством аксиальной симметрии, то таким же свойством обладает и степени когерентности этого пучка на его оптической оси. Графики степени когерентности в этом случае демонстрируют, что при достаточно высокой исходной когерентности оптического излучения в центральной части двумерного поля степени когерентности при определенных условиях формируются двойные кольцевые структуры – области низкой когерентности. Таким образом, оказывается, что при достаточно высокой исходной когерентности оптического излучения зависимость степени когерентности бесселева пучка от разностной пространственной координаты носит выраженный осциллирующий характер. Подобное же поведение степени пространственной когерентности наблюдается при дифракции некогерентной волны на дифракционной решетке. При низкой когерентности оптического излучения степень когерентности бесселева пучка описывается монотонно спадающей кривой.

Однако, по мере смещения суммарной координаты точек наблюдения с оптической оси бесселева пучка аксиальная симметрия степени когерентности исчезает. Вместо этого появляется существенная зависимость характеристик когерентности бесселева пучка как от величины суммарной координаты точек наблюдения, так и от взаимной ориентации векторов суммарной и разностной координат точек наблюдения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ БОКОВОГО ВЕТРА ИЗ ФЛУКТУАЦИЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОДСВЕЧЕННОЙ ЛАЗЕРНЫМ ПУЧКОМ МИШЕНИ

Д.А. Маракасов

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

Представлены прямой и спектральный способы оценки усредненной вдоль оптической трассы скорости поперечного ветра из флуктуаций изображения подсвеченной лазерным пучком мишени, их программная реализация и результаты обработки экспериментальных данных, в том числе и в режиме реального времени. Обсуждаются возможности восстановления профиля ветра при подсветке сфокусированным/расфокусированным пучком.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ОЦЕНКИ ВНЕШНЕГО МАСШТАБА ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ

А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, Д.А. Маракасов

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

В настоящее время накоплены значительные массивы долговременных измерений ветровых и температурных пульсаций в приземном слое атмосферы с помощью акустических метеостанций. Из анализа этих данных следует, что реальная турбулентность приземного слоя практически всегда отличается от стандартной модели однородной и изотропной турбулентности Колмогорова-Обухова со степенной структурной функцией и показателем спектра $-11/3$. Измеренная в таких условиях структурная постоянная (неколмогоровская) имеет величину и размерность, отличающуюся от стандартной.

В [1] рассмотрена возможность использования подхода, предложенного в [2], когда для характеристики неколмогоровской турбулентности используется эквивалентное выражение для структурной постоянной, которое рассчитывается на базе неколмогоровской структурной постоянной с учетом внешнего масштаба турбулентности и степенного закона измеренного турбулентного спектра. Однако, в [1] оценки внешнего масштаба проводились приближенно, как половина высоты измерений. В докладе на основе спектральной обработки данных акустической метеостанции представлены оценки динамики временных изменений внешнего масштаба турбулентности и эквивалентной (колмогоровской) структурной постоянной.

Работа выполнена по госзаданию ИОА СО РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в части организации и проведения экспериментальных работ и частичной финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области (проект № 18-42-700005 p_a) в части выполнения численных расчетов и анализа результатов.

1. *Афанасьев А.Л., Банах В.А., Маракасов Д.А.* О возможности применения эквивалентной структурной характеристики флуктуаций показателя преломления для оценки интенсивности неколмогоровской турбулентности // *Аэрозоли Сибири*. XXVII Рабочая группа: тез. докл. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2020. С. 101.
2. *Li Y., Zhu W., Wu X., Rao R.* Equivalent refractive-index structure constant of non-Kolmogorov turbulence // *Opt. Express*. 2015. V. 23, N 18. P. 23004–23012.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОСРЕДНЕННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ТУРБУЛЕНТНЫХ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ АМК-03

В.В. Васин, А.Л. Афанасьев

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

Создана программа обработки первичных пульсационных данных, измеряемых ультразвуковой метеостанцией АМК-03 [1]. Программа позволяет вычислить ряд стандартных статистических и турбулентных характеристик метеопараметров и турбулентных потоков на основе долговременных выборок мгновенных значений при задании произвольного интервала осреднения. Реализованы алгоритмы спектрально-корреляционного анализа. Выполнена обработка данных, полученных в прибрежной зоне Байкала в 2021 г. При задании одинакового интервала осреднения проведено сравнение с параметрами, рассчитываемыми в реальном времени измерений программой «МЕТЕО 3.0.».

Работа выполнена по госзаданию ИОА СО РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в части организации и проведения экспериментальных работ и частичной финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области (проект № 18-42-700005 p_a) в части выполнения численных расчетов и анализа результатов.

1. *Азбукин А.А., Бозушевич А.Я., Ильичевский В.С., Корольков В.А., Тихомиров А.А., Щелевой В.Д.* Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03 // *Метеорол. и гидрол.* 2006. № 11. С. 89–98.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕТРА В АТМОСФЕРНОМ СЛОЕ 10–20 км КОГЕРЕНТНЫМ ДОПЛЕРОВСКИМ ЛИДАРОМ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ

И.Н. Смалихо, В.А. Банах

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

Согласно теории и известным экспериментальным данным, на высотах, превышающих 5–7 км, вклад аэрозольного рассеяния зондирующего лазерного излучения в эхосигнал может быть существенно меньшим, по сравнению с молекулярным рассеянием. При этом ширина спектра рассеянного излучения определяется температурой воздуха и на два порядка превышает соответствующую характеристику в случае аэрозольного рассеяния, используемого в работе когерентного доплеровского лидара (КДЛ). Ранее в [1] на основе результатов теоретических расчетов погрешности оценивания радиальной скорости были определены требования к импульсным КДЛ, обеспечивающие работу таких лидаров наземного базирования с использованием молекулярного рассеяния на высотах до 10 км.

В настоящей работе применяется численное моделирование случайных реализаций для спектров эхосигнала импульсного КДЛ в случае молекулярного рассеяния для исследования возможности ветрового зондирования на длинах волн 1 и 2 мкм в атмосферном слое от 10 до 20 км. Разработан способ оценивания радиальной скорости из таких спектров. Определены энергии зондирующих импульсов, при которых погрешность оценки

скорости ветра не превышает 2 м/с. Установлено, что в случае длины волны 1 мкм энергия зондирующего импульса (от 50 мДж на высоте 10 км до 1 Дж на высоте 20 км) может быть в 3–4 раза меньше, по сравнению с 2-микронным КДЛ.

1. Rye B.J. // Appl. Opt. 1998. V. 37, N 27. P. 6321–6328.

СПЕКТРЫ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В ДОЖДЕ, МОРОСИ, ТУМАНЕ И ДЫМКЕ

Р.Ш. Цвык, Н.А. Вострецов

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

Представлены результаты экспериментальных исследований спектров флуктуаций интенсивности рассеянного вперед излучения лазерного пучка распространяющегося в приземной атмосфере в дожде, мороси, тумане и дымке. Излучение лазерного пучка фокусировалось в конце трассы длиной 130 м. Измерение флуктуаций интенсивности выполнены на расстоянии 10 мм от фокального пятна, в области излучения рассеянного на частицах. Показано, что форма спектра флуктуаций рассеянного излучения $U(f)$ практически не зависит от скорости ветра и определяется коэффициентом ослабления атмосферы, размером частиц осадков и турбулентностью атмосферы в дождях, мороси и дымке. Появление степенных и экспоненциальных наклонов в этих спектрах можно обосновать. Спектры флуктуаций интенсивности рассеянного поля в тумане настолько своеобразны, различны и, на наш взгляд, пока не поддаются систематизации.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО ВЕТРОВОГО ЛИДАРА

Г.А. Петров^{1,2}, Н.А. Баранов³, Г.Э. Романова^{1,4}, М.Ю. Сачков¹

¹*АО «БАНС», г. Москва, Россия*

²*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Россия*

³*Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, г. Москва, Россия*

⁴*Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия*

gapetrov@etu.ru

Рассмотрены варианты построения оптической системы импульсного когерентного ветрового лидара инфракрасного диапазона. Ключевой системой в схеме лидара является приемо-передающий телескоп, обеспечивающий передачу зондирующего лазерного импульса с длиной волны 1,5 мкм на дистанцию работы лидара и прием обратнорассеянного атмосферой излучения. Для современных импульсных лидаров инфракрасного диапазона предельная дистанция сканирования параметров ветра, как правило, находится в диапазоне 10–15 км. При этом к системе предъявляются требования одновременно по обеспечению высокого качества формируемого волнового фронта, минимизации массогабаритных характеристик, температурной стабильности характеристик, технологичности изготовления оптических и механических деталей, простоте процесса сборки и юстировки готового телескопа и стабильности при воздействии механических факторов.

Для решения поставленных задач было разработано две оптические схемы телескопа, в которых используются сферическая или асферическая оптика, реализуемые на унифицированном корпусе. Узел юстировки универсален и требует только продольной юстировки вдоль оси телескопа. Очевидным преимуществом оптической схемы на основе асферической оптики является меньшее количество оптических компонентов, что приводит к снижению массы конструкции и увеличению пропускания. Однако, асферическая оптика сложнее и дороже в производстве и при контроле качества изготовления.

Обе оптические схемы были испытаны в рамках натурального эксперимента по открытой атмосфере. В качестве критерия качества использовалось отношение сигнал-шум, полученное для разных телескопов при фиксировании прочих параметров (дальность, длительность импульса, энергия). В докладе представлены схемы экспериментов, а также результаты и анализ полученных данных.

Авторский указатель

А		Воробьёв Д.С.	16	Захаренко В.С.	24
Агафонцев М.В.	82	Воробьёв С.Н.	16	Зелинский А.С.	36
Агеев Б.Г.	15	Воронецкая Н.Г.	10	Землянская Д.И.	25
Алексеева М.Н.	10	Воронин Б.А.	28, 30, 35	Зенкова П.Н.	3, 21, 54
Альперина Н.А.	62	Вострецов Н.А.	80, 85	Зуев В.В.	40
Амикишиева Р.А.	51	Вуколов А.В.	53	Зуева Г.А.	12
Андреева И.С.	13, 15, 49, 58	Г		И	
Андрикович А.А.	57	Габьшев Д.Н.	57	Ивлев Г.А.	10, 42
Анисимова А.К.	44	Генералов В.М.	58	Иорданский М.А.	11, 21
Антонов А.А.	32	Герасимова Л.О.	81	К	
Антонов А.В.	3	Гладких В.А.	31, 32, 33	Кабанов Д.М.	64, 65, 66, 67
Антохин П.Н.	41	Голенко П.М.	40	Кабиллов М.Р.	49, 58
Антохина О.Ю.	14	Голобокова Л.П.	18, 65	Кадычагов П.Б.	10
Артамонова М.С.	11	Головко В.В.	12	Камардин А.П.	30, 31, 32
Артюшина А.В.	38	Головушкин Н.А.	21, 41, 45	Кан Н.В.	5, 7, 71
Архипов В.А.	60	Гордеев Е.В.	80, 82	Канев Ф.Ю.	78
Аршинов М.Ю.	10, 46, 82	Горошко М.С.	39	Карпов А.В.	43
Астахова Е.М.	15, 18	Горчаков Г.И.	43, 45	Карташов М.Ю.	15
Афанасьев А.Л.	82, 83, 84	Горячев Б.В.	47	Касимов Н.С.	46, 50, 61
Б		Гочаков А.В.	39, 41	Касымов Д.П.	82
Баженов О.Е.	17	Градов В.С.	40	Кеда И.С.	62
Балин Ю.С.	69, 70	Гриднев Ю.В.	13, 30	Киселев А.В.	78
Банах В.А.	80, 81, 83, 84	Губанова Д.П.	11, 21	Киселева Т.И.	12
Баранов Н.А.	22, 85	Гущин Р.А.	43, 44, 45	Клемашева М.Г.	70
Барт А.А.	38	Д		Кобелев В.О.	46
Басалаев С.А.	60	Давыдов Д.К.	10, 14	Кобзев А.А.	35, 37
Белан Б.Д.	13, 15, 18, 20, 42, 48	Дайбова Е.Б.	24	Коваadlo П.Г.	78
Белан С.Б.	10	Дарьин Ф.А.	66, 68	Коваленко К.А.	15
Беляева И.В.	46	Даценко О.И.	44	Ковач Р.Г.	61
Береснев С.А.	8, 39	Дейчули В.М.	40	Козлов А.В.	42
Беспалова А.И.	51	Дементьев Д.А.	77	Козлов А.С.	10, 16
Боев А.Г.	16	Долгий С.И.	13, 45	Козлов В.С.	3, 21, 54
Большаков А.А.	17, 62	Долгов А.М.	19, 59	Козодоев А.В.	7
Борков Ю.Г.	24	Дорошкевич А.А.	57	Колотков Г.А.	30
Боровко И.В.	40	Дубцов С.Н.	19, 59	Коновалов И.Б.	21, 41, 45, 54
Боровой А.Г.	4, 6, 7, 71	Дудорова Н.В.	48	Коношонкин А.В.	4, 5, 6, 7, 71
Боршевников А.Н.	77	Дульцева Г.Г.	19, 59	Константинов А.П.	68
Ботыгин И.А.	27, 28	Е		Коняев П.А.	76
Брюханова В.В.	62	Евангелу Н.	46	Коханенко Г.П.	69, 70
Будаева Ю.С.	50	Еланский Н.Ф.	11	Кочнева Л.Б.	8
Буряк Г.А.	13, 49, 58	Елецкая Е.В.	18	Кошелева Н.Е.	50
В		Ефремова И.С.	53	Кравцова Н.С.	13
Васильева М.С.	8, 39	Ж		Кравчишина М.Д.	64
Васин В.В.	84	Жарков В.И.	69	Краснов О.А.	14
Веретенников В.В.	5, 54	Журавлева Т.Б.	38	Крицков И.В.	16
Веретехин И.Д.	78	З		Круглинский И.А.	64
Виноградова А.А.	21	Завгородняя Ю.А.	17	Крупчатников В.Н.	40
Власов Д.В.	50	Зайцев Н.Г.	69	Крылова А.И.	29
Володина Д.А.	53	Заковряшин А.В.	34	Кузнецова И.Н.	41, 45
				Куйбида Л.В.	10
				Курбацкая Л.И.	34

Авторский указатель

Куряк А.Н.	61	Онищук Н.А.	49, 66	Сацук Д.В.	53
Кустова Н.В.	4, 5, 6, 7, 71	Орлов К.Е.	82	Сачков М.Ю.	85
Л		Осипова Н.А.	12	Свечникова Е.К.	25
Лавриненко А.В.	42, 43	Охлопкова О.В.	13, 15, 18	Семенова А.В.	17
Лаптева Н.А.	29, 58	П		Семутникова Е.Г.	44
Ларионова А.Д.	50	Панов Д.И.	82	Сенников В.А.	76
Леженин А.А.	52, 53	Панченко М.В.	3, 4, 16	Сидорова О.Р.	68
Леонов Е.В.	77	Певнева Г.С.	10	Симоненков Д.В.	10, 13, 15, 18, 20, 23
Лим А.Г.	16	Пененко А.В.	39, 40, 41	Скляднева Т.К.	42
Лобода Е.Л.	82	Пененко В.В.	29, 39, 40	Скорик (Коноплева) В.С.	39, 40
Лобода Ю.А.	82	Пеннер И.Э.	70	Скороход А.И.	11
Ломакина Н.А.	42, 43	Перемитина Т.О.	19	Смалихо И.Н.	80, 84
Лоскутова М.А.	66, 68	Перминов В.В.	82	Смирнов С.В.	46, 61
Лукин В.П.	73, 74, 75, 76, 78	Перфильева К.Г.	60	Смиховская А.В.	17
Лукин И.П.	82	Пестунов Д.А.	42	Соловьянова Н.А.	13, 49, 58
Луценко А.В.	82	Петров Г.А.	85	Солодов А.А.	40
Ляхов Д.М.	77	Петрова Т.М.	40	Солодов А.М.	40
М		Плохотниченко М.Е.	19, 59	Сороколетов Д.С.	66, 68
Макаров В.И.	68	Побережников А.Д.	53, 61	Сохарева Г.Н.	77
Макарова М.В.	28	Покровский О.С.	16	Стадничук Е.М.	25
Макеев А.П.	13, 45	Полькин Вас.В.	6, 21, 54	Стародымова Д.П.	16
Макенова Н.М.	78	Полькин Вик.В.	3, 4, 6, 64, 65, 67	Старосельцева А.А.	82
Максименков Л.О.	11	Помазкин Д.А.	61	Субботина К.А.	61
Максютов Ш.Ш.	14	Попова С.А.	21, 66, 68	Сулакшина О.Н.	24
Мальшев Б.С.	15	Поповичева О.Б.	16, 17, 46, 50, 61	Сухарев А.А.	80
Маракасов Д.А.	80, 82, 83	Почуфаров А.О.	64, 65, 66	Сясегова В.С.	39
Мартынов П.С.	82	Пучкова Л.И.	49	Т	
Маслова М.В.	33	Пьянова Э.А.	29, 39	Таловская А.В.	12, 50, 51, 53
Махманазаров Р.М.	80	Р		Тартаковский В.А.	27, 28
Медведев Д.Н.	57	Радионов В.Ф.	65, 67	Тентюков М.П.	20
Меньшикова С.С.	5	Разенков И.А.	80, 81	Терпугова С.А.	3, 4
Мирсайтов С.Ф.	45	Рапута В.Ф.	51, 52	Тимофеев Д.Н.	4, 5, 6, 7, 71
Михайлов В.И.	20	Ребус М.Е.	13, 49	Тихомиров Б.А.	61
Михайлюта С.В.	53	Резникова И.К.	13	Ткачев И.В.	5
Моложникова Е.В.	48, 49	Рейно В.В.	82	Толмачев Г.Н.	10
Н		Ризе Д.Д.	66, 68	Торгаев А.В.	73, 74, 75, 76
Надеев А.И.	69	Романова Г.Э.	85	Торосян Е.С.	50
Назарова У.Г.	22	Романовский О.А.	13, 59	Трегубчак Т.В.	18
Насонов С.В.	70	Романовский Я.О.	13	Трифонов Анд.А.	16
Насонов С.И.	70	Ромашенко В.А.	54	Трифонов Ант.А.	16
Нахаев М.И.	41, 45	Ростов А.П.	79	Трифонов Д.А.	69
Невзоров А.А.	13	Рудометова Н.Б.	58	Трифонова-Яковлева А.М.	40
Невзоров А.В.	13, 45	Русского И.В.	10	Тужилкин Д.А.	59
Невзорова И.В.	30, 31, 32, 33	Русскова Т.В.	60	Турчинович Ю.С.	66, 67, 68
Нецветаева О.Г.	49	Рычков Д.С.	79	У	
Никифорова О.Ю.	15	Рябинин А.А.	71	Ужегов В.Н.	16, 21, 54
Новигатский А.Н.	16	С		Усанина А.С.	60
Новоселов М.М.	69, 70	Савельева Е.С.	40	Ф	
Носов В.В.	73, 74, 75, 76	Садовников С.А.	59	Фалиц А.В.	80, 81
Носов Е.В.	73, 74, 75, 76	Сазанович В.М.	24, 84	Федосеев В.Н.	77
О		Сакерин С.М.	64, 65, 66, 67	Фирсов К.М.	32
Оболкин В.А.	48, 52	Самойлова С.В.	70	Фофонов А.В.	10, 14, 42
Одинцов С.Л.	30, 31, 32, 33	Сапрунова И.А.	12	Х	
Олькин С.Е.	13, 49, 58	Сафатов А.С.	13, 14, 15, 18, 49, 58	Харченко О.В.	13, 59

Аэрозоли Сибири

Ходжер Т.В.	18, 48, 52, 65	Шерстобитов М.В.	82		B	
Хуриганова О.И.	18, 65, 66	Шестернин А.Н.	24	Beekmann M.		22, 41, 45
Хуторов В.Е.	33	Шиховцев А.Ю.	78		C	
Хуторова О.Г.	33	Шиховцев М.Ю.	48, 49, 65, 78	Czech H.		16
	Ц	Шишигин С.А.	9		K	
Цветова Е.А.	31, 39	Шишкин Е.	21			
Цвык Р.Ш.	24, 82, 85	Шишко В.А.	4, 6, 7, 71	Kaskaoutis D.G.		23
	Ч	Шмаргунов В.П.	3, 16, 21, 54	Konovalov I.B.		22
Ченцов А.В.	35, 40		Щ		M	
Черемискина А.А.	58	Щербаков Д.В.	57			
Чернов Д.Г.	3, 16, 21, 54, 66	Щипалкин В.И.	77	Mac-Donald P.		46, 55
	Ч		Ю	Mohammadpour K.		23
Черных А.В.	77	Юдин М.С.	33		R	
Чеснокова Т.Ю.	30, 32, 35, 40	Юрченко С.Н.	35	Rashki A.		23
Чичаева М.А.	17, 46, 50, 61		Я		S	
Чхетиани О.Г.	11	Ягнятинский Д.А.	77	Schnelle-Kreis J.		16
	Ш	Язиков Е.Г.	12, 50, 51, 53	Shukurov K.A.		23
Шанин Ю.И.	77	Яковлев Г.А.	35, 36, 37, 46, 55, 61	Siour G.		41, 45
Швалов А.Н.	18		Я		Y	
Шевцов Е.С.	71	Яковлев С.В.	59			
Шевченко В.П.	16, 64	Яковлева В.С.	46, 53, 61	Yeboah E.		55
Шерстнёв В.С.	27, 28	Яушева Е.П.	3, 54		Z	
Шерстнёва А.И.	27, 28	Яценко А.В.	19	Zimmermann R.		16
Шерстобитов А.М.	80	Яценко И.Г.	10, 19			