

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Сибирское отделение
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Российский фонд фундаментальных исследований

XXVII Конференция



АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

Тезисы докладов

*Посвящается 100-летию со дня рождения Академика РАН
Кирилла Яковлевича Кондратьева*

Томск
Издательство ИОА СО РАН
2020

УДК 551.508; 551.510; 551.521
ББК 32.86
А 932

Аэрозоли Сибири. XXVII Конференция: Тезисы докладов. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2020. – 124 с.

Сборник включает тезисы докладов XXVII 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



Конференция проводится при поддержке РФФИ
(грант № 20-05-22033 Научные мероприятия)



АО «НИИ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ»



ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОЗОЛЯ

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗЕМНОГО СУБМИКРОННОГО АЭРОЗОЛЯ

А.А. Исаков

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
A.A.Isakov@mail.ru

Рассматриваются результаты статистического анализа микрофизических параметров субмикронного аэрозоля – показателя преломления n вещества частиц и величины радиуса максимума распределения объемов частиц по размерам r . Микрофизические параметры n и r оценивались решением задачи обращения спектральных зависимостей поляризационных компонент индикатрисы рассеяния света приземным аэрозолем на сетке значений величин показателя преломления $n = 1,38–1,59$ с шагом $\delta n = 0,03$. Рассмотрены данные, полученные для сухой основы частиц в первой половине 2008 г. на Звенигородской научной станции. Минимальные значения $n = 1,38$, максимальные – $n = 1,59$, среднее значение – $n = 1,53$, среднеквадратичное отклонение – $0,03$. Гистограмма распределения величины n существенно асимметричная – левое крыло распределения – минимальных значений – существенно длиннее, чем правое, на область максимума распределения приходится около 30% случаев. Положение максимума распределений объемов частиц по размерам изменяется в пределах $r = 0,07–0,2$ мкм, максимум гистограммы распределения r_{\max} приходится на величину $r = 0,13$ мкм, стандартное отклонение – $0,02$. Здесь гистограмма имеет приблизительно симметричный вид. Во временной развертке величины показателя преломления просматриваются квазипериодические вариации с периодом в 2–3 суток, более долгопериодные колебания выражены слабо.

Работа выполнена по госзаданию № 0129-2019-0002.

ВАРИАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЗАДЫМЛЕНИЯХ

Г.И. Горчаков¹, А.В. Карпов¹, Е.Г. Семутникова², В.М. Копейкин¹, И.А. Горчакова¹,
Т.Я. Пономарева³, Р.А. Гушин^{1,4}, О.И. Даценко^{1,4}

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

²*МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, г. Москва, Россия*

³*ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия*

⁴*МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия*
gengor@ifaran.ru

При крупномасштабных задымлениях меняется аэрозольный и газовый состав атмосферы на больших территориях, что приводит, в частности, к существенным изменениям радиационного режима атмосферы. Рекордное по масштабам задымление наблюдалось при распространении сибирской дымной мглы [1, 2] по территории Северной Евразии в июле 2016 г. С использованием данных реанализа метеорологических полей, данных мониторинга аэрозольной оптической толщины и данных спутникового лидарного зондирования вертикальных профилей аэрозоля, а также данных AERONET получены оценки крупномасштабных потоков дымового аэрозоля в западном и восточном направлениях, а также в Арктику и через оз. Байкал. Проанализирована изменчивость оптических и микрофизических характеристик аэрозоля, обусловленная эволюцией сибирской дымной мглы, оценены радиационные эффекты при крупномасштабном задымлении Северной Евразии. Выполнено сопоставление оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в сибирской дымной мгле 2016 г. с оптическими и микрофизическими характеристиками аэрозоля при других задымлениях Северной Евразии.

Работа выполнена при поддержке Программы РАН «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

1. Горчаков Г.И., Голицын Г.С., Ситнов С.А., Карпов А.В., Горчакова И.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Крупномасштабные дымки Евразии в июле 2016 г. // Докл. РАН. 2018. Т. 482, № 2. С. 211–214.
2. Горчаков Г.И. и др. Крупномасштабные дымки Евразии летом 2016 г. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2019. Т. 55, № 3. С. 41–51.

МЕТОД ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ КОРИЧНЕВОГО УГЛЕРОДА В ДЫМОВОМ АЭРОЗОЛЕ ПО ДАННЫМ МНГОВОЛНОВЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Н.А. Головущкин¹, И.Б. Коновалов¹, И.Н. Кузнецова², В.С. Козлов³, В.Н. Ужegov³, М.И. Нахаев²

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

²Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, г. Москва, Россия

³Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
golovushkin@ipfran.ru

Коричневый углерод (BrC) является важной поглощающей компонентой дымового аэрозоля, которая существенно влияет на его оптические и радиационные свойства и потому должна адекватно учитываться в климатических расчетах. При этом относительный вклад BrC в поглощение солнечного излучения дымовым аэрозолем чрезвычайно изменчив и зависит как от условий горения, так и от атмосферных окислительных процессов. В данной работе выполнен анализ многоволновых измерений поглощательной аэрозольной оптической толщи, сделанных спутниковым инструментом OMI над территорией Сибири, в результате чего разработан и апробирован метод оценки содержания BrC в дымовом аэрозоле. Метод предполагает использование данных спутниковых измерений для расчета поглощательных показателей Ангстрема и включает процедуры учета изменчивости микрофизических свойств аэрозоля на основе ансамблевых расчетов его оптических свойств с микрофизической динамической моделью [1] и фотохимического «возраста» аэрозоля на основе расчетов с химико-транспортной моделью. Полученные в рамках данного исследования оценки содержания BrC в составе сибирского дымового аэрозоля сопоставлены с соответствующими оценками по данным зондирования атмосферы на станциях AERONET, а также с измерительными оценками по данным экспериментов в Большой аэрозольной камере ИОА СО РАН.

Работа выполнена за счет гранта РФФИ (проект № 19-77-20109). Анализ данных измерений AERONET выполнен при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-05-00911).

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

АККОМОДАЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДИФФУЗИОФОРЕЗА В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОМОЛЕКУЛЯРНОГО РЕЖИМА

В.Г. Черняк, Т.В. Сограби

Институт естественных наук и математики, Уральский Федеральный Университет, г. Екатеринбург, Россия
timur.sograbi@urfu.ru

Исследование характера взаимодействия молекул газовой смеси с аэрозольной частицей играет ключевую роль при определении законов ее движения, а также позволяет с большей точностью предсказывать осаждение аэрозолей в диффузионных фильтрах.

Можно отметить две работы, в которых эта проблема кратко обсуждается и получены выражения для силы и скорости свободномолекулярного диффузиофореза с использованием модели зеркально-диффузного отражения молекул на поверхности частицы [1, 2].

В настоящей работе получены выражения для силы и скорости диффузиофореза малой аэрозольной частицы в бинарной газовой смеси для произвольного характера взаимодействия молекул с поверхностью (ядра рассеяния). Было показано, что в случае произвольного, но одинакового взаимодействия молекул разного сорта с поверхностью частицы, скорость диффузиофореза не зависит от характера этого взаимодействия. В случае близких молекулярных масс компонентов смеси характер взаимодействия «газ – поверхность» влияет как на величину, так и на знак силы и скорости диффузиофореза. Проведен численный анализ для четырех известных

моделей ядра рассеяния: зеркально-диффузной модели с постоянным коэффициентом зеркально-диффузного отражения; с коэффициентом, зависящим от скоростей молекул (модели Эпштейна, а также Бормана и соавторов); модели Черчиньяни–Лэмпис (CL). Расчеты силы и скорости диффузиофореза для всех моделей ядра рассеяния показывают качественное согласие полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-31-90019\19), а также Министерства Науки и Высшего Образования РФ (проект № FEUZ-2020-0057).

1. *Waldmann L.* // *Z. Naturforsch.* 1959. V. 14a, N 7. P. 589–599.
2. *Bakanov S.P., Derjaguin P.V.* // *J. Aerosol Sci.* 1960. V. 26. P. 1085–1099.

ИССЛЕДОВАНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИБИРСКОГО ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ НА ОСНОВЕ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ХИМИКО-ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛЬЮ

И.Б. Коновалов¹, Н.А. Головушкин¹, М. Beekmann²

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

²*Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA), Creteil, France
konov@ipfran.ru*

Сибирские лесные пожары являются источником углеродсодержащего аэрозоля, который вносит существенный вклад в атмосферный радиационный баланс в Северной Евразии и Арктике. Однако достоверность количественных оценок этого вклада ограничивается, в частности, неопределенностями, связанными с недостаточным знанием абсорбционных характеристик сибирского дымового аэрозоля, особенно в УФ-диапазоне.

Целью выполненного исследования являлось получение оценок усредненных (типичных) значений абсорбционных характеристик дымового аэрозоля в Сибири на основе усвоения данных спутниковых измерений абсорбционной и полной аэрозольных оптических толщин (AAOT и AOT) химико-транспортной моделью. В исследовании использовались данные спутниковых измерений AOT и AAOT соответственно инструментами MODIS и ОМИ, а также химико-транспортная модель CHIMERE, совмещенная с модулем оптических расчетов на основе теории Ми. Усвоение измерений AOT позволяет оптимизировать интенсивность источников дымового аэрозоля [1], тогда как анализ измерений AAOT с учетом расчетов фотохимического возраста аэрозоля дает возможность разделить вклады черного и коричневого углерода в абсорбцию солнечного излучения аэрозолем и оценить их удельные коэффициенты абсорбции, а также мнимую часть показателя преломления аэрозольного органического вещества. Полученные оценки сопоставлены с литературными данными.

Работа выполнена за счет гранта РФФИ (№ 19-77-20109).

1. *Konov I.B., Lvova D.A., Beekmann M., Jethva H., Mikhailov E.F., Paris J.-D., Belan B.D., Kozlov V.S., Ciaia P., Andreae M.O.* // *Atmos. Chem. Phys.* 2018. V. 18. P. 14889–14924.

СЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ОБРАТНЫХ ТРАЕКТОРИЙ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИХОДА ВОЗДУШНЫХ МАСС В ПОДМОСКОВЬЕ И СВЯЗЬ С НИМИ ВАРИАЦИЙ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ

П.П. Аникин, А.А. Исаков, Д.П. Горбунова

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

В работе [1] мы, используя метод анализа обратных траекторий направлений прихода воздушных масс в Подмоскowie, применили его для совместного с анализом вариаций массовой концентрации приземного аэрозоля M на Звенигородской научной станции. Все возможные направления прихода воздушных масс были разбиты на восемь секторов, принадлежность к сектору определялась начальной точкой трехсуточной траектории и ее «закрученостью». При прохождении атмосферных фронтов, траектории проходили через разные географические регионы, возникла необходимость более тщательного исследования подобных ситуаций. Для этого мы, для более подробного анализа, применили разбивку по двенадцати секторам, для суток считались четыре траектории с интервалом 6 ч. Данные по массовой концентрации M тоже проходили процедуру осреднения за 1 ч

при частоте съема 1 мин. Для двух лет, 2017 и 2018 гг. окончательно были получены гистограммы средних за год число направлений прихода для каждого из двенадцати секторов и так же осредненные за год величины концентрации M для каждого из секторов. Общим для обоих годов явился ярко выраженный максимум на гистограммах в области северо-северо-западных направлений прихода, причем этому соответствуют минимумы средних величин M .

1. Исаков А.А., Тихонов А.В. О сопоставлении осредненных направлений прихода в Подмоскowie воздушных масс со средними величинами параметра Хенела и показателя преломления вещества частиц // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 1. С. 9–13.

МОДЕЛЬ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ДЛЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Н.Н. Щелканов

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

Получена модель, которая позволяет рассчитать коэффициенты аэрозольного ослабления для приземного слоя атмосферы в области спектра 0,4–12 мкм при метеорологической дальности видимости более 20 км. Входным параметром модели является метеорологическая дальность видимости. Проведено сравнение модели с моделями Филиппова–Иванова–Макарова. Показано, что модели Филиппова–Иванова–Макарова дают заниженные значения коэффициентов аэрозольного ослабления в ИК-области спектра.

ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ ФРАКТАЛОПОДОБНЫХ АГРЕГАТОВ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

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

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

Обобщается теория описания характеристик движения фракталоподобных агрегатов на основе использования газокинетических результатов для однородных сферических частиц. Сущность теории заключается в замене реального фрактального агрегата эквивалентной по подвижности сферой и в аппроксимации плотности и теплопроводности частиц их эффективными значениями, вычисляемыми по отдельным методикам. Теория подтвердила свою эффективность при анализе скорости оседания фракталоподобных агрегатов, а также при анализе их термо- и фотофоретического движения. Представлены приложения теории для описания движения фракталоподобных агрегатов углеродосодержащих частиц на высотах верхней тропосферы – нижней и средней стратосферы.

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

СУТОЧНЫЙ ХОД ОРЕОЛЬНОЙ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ «АЭРОЗОЛЬНОЙ ПОГОДЫ»

Вас.В. Польшкин, Е.П. Яушева, Вик.В. Польшкин

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

Проводится исследование экспериментальных данных, которые получены на аэрозольной станции ЛОА ИОА СО РАН за период 2010–2019 гг. с помощью ореольного фотометра закрытого типа. Установка позволяет круглосуточно измерять коэффициент направленного рассеяния в диапазоне углов $1,2 \pm 20^\circ$. Формирование

массивов данных проведено на основе часовых значений. Данные разделены по типам «аэрозольной погоды» и по сезонам. Анализируются ореольные индикатрисы рассеяния для четырех ситуаций: «дымка», «смог», «фон», «дымная мгла».

Многолетние исследования выполнялись в рамках госзадания по проекту № АААА-А17-117021310142-5, а анализ суточного хода ореольных индикатрис рассеяния осуществлен в рамках задач, выполняемых при финансовой поддержке РФФ (соглашение № 19-77-20092).

СУТОЧНЫЙ ХОД ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ЗИМНИЙ И ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД В РАЙОНЕ г. ТОМСКА

П.Н. Зенкова, Вик.В. Польшкин, Вас.В. Польшкин, С.А. Терпугова, В.С. Козлов, М.В. Панченко

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

На основе модельного восстановления и результатов измерений, полученных на аэрозольной станции ИОА СО РАН г. Томска, и проанализированы особенности сезонной изменчивости суточного хода оптических характеристик аэрозоля в видимом спектре длин волн. Параметры логнормального распределения частиц по размерам, поглощающего вещества задавались на основе данных наблюдений, а изменение их размеров и оптических постоянных с ростом относительной влажности воздуха рассматривается в рамках полуэмпирической теории равновесного конденсационного роста размеров атмосферного аэрозоля А.Г. Лактионова.

Многолетние исследования выполнялись в рамках госзадания по проекту № АААА-А17-117021310142-5, а разработка модели восстановления комплекса оптических характеристик с учетом поглощающих и гигроскопических свойств аэрозоля осуществлялась в рамках задач, выполняемых при финансовой поддержке РФФ (соглашение № 19-77-20092).

ФАЗОВАЯ ФУНКЦИЯ РАССЕЯНИЯ СВЕТА ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ ЛЕДЯНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ДЛИН ВОЛН 1,55 И 2 мкм В ПРИБЛИЖЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

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

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

Представлены характеристики рассеяния света на ледяных частицах перистых облаков в приближении физической оптики для длин волн 0,532; 1,064; 1,55 и 2 мкм. Будет проведен расчет для ледяных частиц различной формы при их хаотической пространственной ориентации в однократном рассеянии. Размеры частиц варьируются в диапазоне от 10 до 1000 мкм согласно распределению D. Mitchel [1]. Решение данной задачи позволит существенно продвинуться в решении задач переноса излучения через перистые облака и как следствие в задачах моделирования климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 20-35-70041, 19-45-703010, 18-05-00568).

1. Mitchell D.L. // J. Atmos. Sci. 1994. V. 51. P. 797–816.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ РЕГИОНА оз. БАЙКАЛ 2019–2020 гг.

И.П. Сунграпова, А.С. Заяханов, Г.С. Жамсуева, В.В. Цыдыпов

*Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
ip.sungrapova@mail.ru*

Представлены результаты исследования характеристик микродисперсной фракции аэрозоля в Байкальском регионе (ст. Боярский, г. Улан-Удэ) в период летних и осенних измерений 2019–2020 гг. Данные получены с помощью диффузионного спектрометра аэрозолей ДСА, ИХКГ СО РАН. Показано, что вариации аэрозольных

характеристик (общая счетная концентрация, спектры распределения частиц) связаны в основном с изменчивостью метеорологических параметров атмосферы, таких как: температура, влажность окружающего воздуха, скорость и направление ветра.

Проведен сравнительный анализ суточной изменчивости общей счетной концентрации микродисперсного аэрозоля в «фоновых» условиях (ст. Боярский) и в условиях города с преобладанием антропогенного аэрозоля в составе атмосферного воздуха (г. Улан-Удэ). В городской атмосфере суточный ход общей счетной концентрации аэрозоля определяется антропогенными факторами (автотранспорт, промышленные предприятия), концентрация частиц достигала своего пика в утренние и вечерние часы, минимума в ночное время. Для суточного хода на ст. Боярский, характерны повышенные концентрации аэрозольных частиц в дневные и вечерние часы. Средние значения концентрации аэрозоля составляли 2155 частиц/см³ в «фоновых» условиях и 5816 частиц/см³ в городской атмосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках госзадания № 0336-2019-0007, часть работ по проведению измерений микродисперсного аэрозоля проведена при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-05-50005 Микромир).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ ПРИ ОБРАЩЕНИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ В ТОМСКЕ

В.В. Веретенников, С.С. Меньщикова, В.Н. Ужegov

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

Исследована межгодовая изменчивость параметров микроструктуры приземного аэрозоля по результатам обращения спектральных измерений коэффициента аэрозольного ослабления света, выполненных в период 2000–2006 гг. в районе г. Томска. Экспериментальные данные получены с помощью измерителя спектральной прозрачности атмосферы на 11 длинах волн в диапазоне 0,45–3,91 мкм на горизонтальной трассе. Общий объем обработанных данных составил свыше 9 тыс. спектров. Для решения обратной задачи был использован численный алгоритм на основе метода интегральных распределений. В качестве анализируемых параметров микроструктуры аэрозоля рассматривались геометрическое сечение, объемная концентрация и средний радиус частиц. Указанные параметры оценивались отдельно для субмикронной и грубодисперсной фракций аэрозоля, а также для суммарного ансамбля частиц. Представлены результаты статистического анализа восстановленных микроструктурных параметров аэрозоля в приземном слое атмосферы. Проведено сравнение с аналогичными микроструктурными параметрами аэрозоля в вертикальном столбе атмосферы, полученными по данным солнечной фотометрии.

INVESTIGATION OF GAMMA BACKGROUND RADIATION WITHIN AN URBAN ENVIRONMENT

E. Yeboah^{1,2}, G.A. Yakovlev¹, M. Zulu¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Tomsk State University, Tomsk, Russia
eugeniayeboah64@gmail.com

No matter where we find ourselves, we are always exposed to radiation because radiation is everywhere. Background radiation emanates from both natural and man-made sources such as terrestrial radiation, cosmic radiation, ingestion and inhalation. The main source of natural radiation is the earth's crust where humans live. The minerals which contribute to background radiation can be found in building materials which are used for building of houses. Background radiation has a great impact on our health in the long term, hence it is very important to measure the amount of gamma radiation contributed by buildings to the environment. The main goal is to investigate the gamma background radiation within an urban environment. In this regard, measurement of gamma radiation were taken in different areas in Tomsk in between two buildings and a field. Measurements were taken vertically from 10 cm – 200 cm above ground level in steps of 50 cm, in between two buildings and 10 cm – 15 m away from second building. The duration for one measurement was 5 minutes using BDKG-03 measuring unit. From the results obtained, the gamma background radiation in between buildings was higher compared to away from the building. In this work, we designed new method of estimation of urban environment impact into the total radiation background.

ДИНАМИКА ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ДЫМАХ ГОРЕНИЯ ЛЕСНОЙ БИОМАССЫ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ НА СТАДИЯХ ГЕНЕРАЦИИ И СТАРЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ

**В.С. Козлов^{1,2}, И.Б. Коновалов², М.В. Панченко¹, В.Н. Ужегов^{1,2}, П.Н. Зенкова^{1,2}, Вас.В. Польшкин^{1,2},
С.А. Попова³, Д.Г. Чернов^{1,2}, В.П. Шмаргунов^{1,2}, В.И. Шпартко^{3,2}, Е.П. Яушева¹**

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

²*ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН»,
г. Нижний Новгород, Россия*

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

vkozlov@iao.ru

Изменчивость концентраций аэрозоля и поглощающего вещества в дымах Сибирских лесных пожаров является предметом изучения вследствие их воздействия на изменения радиационного форсинга атмосферы и климата и дальнего переноса в Арктику.

В Большой аэрозольной камере (БАК) ИОА выполнен в контролируемых условиях II этап комплексных измерений спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления на длинах волн 0,45–3,9 мкм, углового рассеяния (поляризационная нефелометрия) и поглощения (многоволновая аэталометрия) – 0,46; 0,53; 0,59; 0,63 мкм в дымах сгорания лесных горючих материалов (ЛГМ). Исследована изменчивость оптико-микрофизических характеристик аэрозолей на стадии дымообразования в зависимости от величины параметра смешения масс для режимов пламенного горения (генерация микрочастиц черного углерода) и тлеющего горения (частицы коричневого углерода), полной массы ЛГМ и исходной относительной влажности воздуха. Проанализирована динамика характеристик дымов при 2-суточном старении в темновых условиях и под воздействием ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 300–400 нм (с помощью созданной в БАК в 2019 г. установки, содержащей 198 УФ-ламп). Аэрозольные измерения сопровождались забором частиц на аэрозольные фильтры и определением концентраций элементного ЕС и органического ОС углерода в дымовом аэрозоле методом газовой хроматографии. Для исследованных пиролизных и смешанных дымов горения выполнен комплексный анализ спектральных зависимостей коэффициента аэрозольного поглощения, соотношения концентраций ЕС/ОС, взаимной связи коэффициентов аэрозольного ослабления, рассеяния и поглощения. На основе этих данных получены оценки изменчивости абсорбционных показателей Ангстрема и удельной массовой концентрации коричневого углерода в дымах сгорания ЛГМ, необходимые для сопоставления с данными спутникового зондирования дымов Сибирских лесных пожаров.

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

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ СВЕТА НА АТМОСФЕРНЫХ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛАХ В ПРИМЕНЕНИИ К СОВМЕСТНОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ ЛИДАРОМ И РАДАРРОМ

В.А. Шишко, 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

Исследования перистой облачности с помощью лидаров и метеорологических радаров проводятся уже около 30 лет [1]. Однако, не смотря на многолетние исследования, в настоящее время радиационные и микрофизические характеристики перистых облаков изучены недостаточно. Усугубляет ситуацию отсутствие теоретического решения задачи рассеяния света для всего спектра наблюдаемых атмосферных кристаллов льда.

Создание банка данных матриц рассеяния как для видимого, так и микроволнового излучения призвано заполнить данный пробел. Рассчитанный банк данных включает как квазигоризонтально ориентированные пластинки, так и хаотически ориентированные ледяные частицы (гексагональные столбики и пластинки, агрегаты, bullet-rosette, дроксталлы и частицы произвольной формы). Размер частиц варьировался в диапазоне от 10 до 10000 мкм. Для длины волны 0,532 мкм расчеты выполнялись в приближении физической оптики, для радаров с частотой 35 и 94 ГГц методом дискретных диполей, разработанным М. Юркиным [2].

Численно рассчитанное радар-лидар отношение показало возможность эффективно восстанавливать средний размер частиц облака независимо от формы кристаллов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 20-35-70041, 19-45-703010, 18-05-00568).

1. Intrieri J.M., Stephens G.L., Eberhard W.L., Uttal T. // J. Appl. Meteorol. 1993. V. 32. P. 1074–1082.

2. Yurkin M.A., Maltsev V.P., Hoekstra A.G. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2007. V. 106. P. 546–557.

МЕЖСЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ВИДИМОГО И ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ

В.Н. Ужегов, В.С. Козлов, М.В. Панченко, С.А. Терпугова, Е.П. Яшуева

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
uzhegov@iao.ru; vkozlov@iao.ru; pmv@iao.ru; swet@iao.ru; helen@iao.ru*

Рассмотрены результаты многолетних круглосуточных измерений оптических характеристик приземного аэрозоля. Для трех сезонов года (весна, лето, осень) и четырех типов оптической погоды (фон, дымка, дымовая мгла и смог) проведено разделение коэффициентов аэрозольного ослабления в диапазоне длин волн от 0,45 до 3,9 мкм, измеренных на протяженной горизонтальной трассе, на спектральные составляющие, обусловленные изменчивостью грубодисперсной и субмикронной фракцией дисперсной фазы воздуха. Входными параметрами для разделения «субмикронной» компоненты аэрозольной экстинкции были выбраны следующие параметры: «осушенный» и «увлажненный» коэффициенты направленного светорассеяния под углом 45° , а также относительное содержание поглощающего вещества в аэрозольных частицах.

Показано для слабо замутненной атмосферы, что соответствует типам оптической погоды: фон и дымка, во всем диапазоне длин волн роль грубодисперсного аэрозоля в ослаблении радиации является доминирующей. В замутненной атмосфере, что соответствует типам оптической погоды: смог и дымовая мгла, в видимой области спектра $\lambda < 0,8$ мкм на лидирующее место в ослаблении выходят компоненты, связанные с субмикронным аэрозолем. Компонента аэрозольного ослабления, связанная с «осушенным» субмикронным аэрозолем дает наибольший вклад в коротковолновое ослабление излучения для всех рассмотренных сезонов года и типов оптической погоды. Роль «увлажненного» аэрозоля повышается весной и осенью для слабых замутнений. Вклад поглощающей компоненты аэрозоля минимален для всех сезонов и статистически значим лишь в коротковолновой области спектра.

Исследование проводилось в рамках государственного задания для проекта № АААА-А17-117021310142-5 и частично поддержано программой РАН «Изменение климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования».

АНАЛИЗ АЭРОЗОЛЕЙ, ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ

А.А. Саксонов, А.А. Большаков

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

Проведены исследования выделения аэрозоля на начальной стадии термодеструкции различных материалов. В процессе нагрева материалов аэрозольный спектр измерялся с помощью диффузионных спектрометров ДАС 2702 и ДСА.

Основной задачей работы было определение отличий между спектрами исследуемых материалов для разделения материалов по группам при нагреве до температуры 300°C . В целях достижения поставленной задачи была разработана программа с использованием пакета прикладных программ Matlab. Разработанная программа реализует алгоритм кластеризации, группирующий частицы с похожими зависимостями концентрации аэрозоля от температуры.

Полученные группы использовались для определения отличий аэрозольной составляющей исследуемых материалов. В результате удалось автоматизировать процесс обработки результатов измерений спектров аэрозолей, полученных при помощи средств измерений, используемых в данной работе.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСАЦИОННЫХ СЛЕДОВ САМОЛЕТОВ ПО ДАННЫМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ТОМСКЕ

И.В. Самохвалов¹, И.Д. Брюханов^{1,2}, Е.В. Ни¹, В.В. Брюханова¹, И.В. Животенюк¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
lidar@mail.tsu.ru, plyton2121@mail.ru

Всемирная метеорологическая организация относит долгоживущие (более 10 мин) самолетные следы к перистым облакам антропогенного происхождения. Изменение ими глобального облачного покрова создает дисбаланс между рассчитываемыми потоками приходящей солнечной радиацией и уходящей от земной поверхности. Так, например, в работе [1] отмечается, что частота появления перистых облаков в северных океанах и США значительно увеличилась вследствие возросшей интенсивности авиационного трафика. Систематические многолетние исследования перистых облаков (включая конденсационные следы) ведутся в лаборатории лазерного зондирования НИ ТГУ на уникальном высотном поляризационном лидаре. Эксперименты выполняются в любое время суток в условиях отсутствия облаков нижних ярусов. Лидар позволяет определять матрицу обратного рассеяния света (МОРС), по которой оценивается микроструктура перистого облака (в том числе ориентация кристаллических частиц [2]). В докладе приводятся результаты исследования временной трансформации микроструктуры конденсационных следов самолетов. Сделаны оценки повторяемости образования в самолетных следах ледяных кристаллов с преимущественной горизонтальной ориентацией, приводящей к аномальному обратному рассеянию излучения.

Работа выполнена при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева Томского государственного университета».

1. Minnis P., Ayers J.K., Palikonda R., et al. // J. Climate. 2004. V. 17. P. 1671–1685.

2. Kaul B.V., Samokhvalov I.V., Volkov S.N. // Appl. Opt. 2004. V. 43, N 36. P. 6620–6628.

ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ РАДИКАЛОВ ¹⁴N¹⁶O И ¹⁶ОН В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

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 спектра излучения газовой смеси состоящей из двухатомных стабильных радикалов ¹⁴N¹⁶O и ¹⁶ОН в УФ-диапазоне 200–400 нм. Излучение в данной области спектра обусловлено электронными переходами ²П–²Σ и ²П–²П. Расчет параметров спектральных линий электронных переходов, проводился на основе созданной программы «SpecRad».

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПТИЧЕСКИМИ И ФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

А.М. Игнатова^{1,2}, М.Н. Игнатов¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

²Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения,
г. Пермь, Россия
iampstu@gmail.com

В силу высокой поверхностной активности наноразмерных материалов, актуальным вопросом исследований их свойств является сохранение материалов от взаимодействия с окружающей средой и от образования агломератов. Методы сохранения делятся на метод хранения (в среде инертного газа) и методы поверхностной обработки (зависят от природы наноразмерного материала). Авторы предлагают совместить оба подхода в методике, подразумевающей поверхностную обработку частиц и дальнейшее хранение в растворе. Суть метода заключается в приготовлении раствора на основе вещества, способного осаждаться на поверхности частицы, в эксперименте использовалась лауриновую кислота в 99% растворе этанола, концентрацией 0,001 моль/л.

В раствор помещаются частицы и в нем подвергаются ультразвуковому диспергированию. В результате на поверхности частиц образуется пленка лауриновой кислоты, которая препятствует их дальнейшей агломерации, а хранение в растворе этанола гарантирует защиту от разрушения этой пленки. Перед исследованием свойств частиц их можно подвергать выпариванию при температурах, не превышающих температуры химических превращений. Эффективность методики доказана на примере обработке частиц наноразмерного оксида кальция. До проведения обработки удельная площадь поверхности частиц, установленная методом БЭТ, составила $6,38 \text{ м}^2/\text{г}$, что не соответствует показателям наноразмерных материалов, а исследования растровой электронной сканирующей микроскопией показали, что частицы склонны к образованию крупных агломератов. После обработки по описанной методике, удельная площадь составила $15,84 \text{ м}^2/\text{г}$, а исследования растровой электронной сканирующей микроскопией показали сокращение количества агломератов на 87%.

ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ ФРАКТАЛОПОДОБНЫХ АГРЕГАТОВ И ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

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

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

Обобщается теория описания характеристик движения фракталоподобных агрегатов на основе использования газокинетических результатов для однородных сферических частиц. Сущность теории заключается в замене реального фрактального агрегата эквивалентной по подвижности сферой и в аппроксимации плотности и теплопроводности частиц их эффективными значениями, вычисляемыми по отдельным методикам. Теория подтвердила свою эффективность при анализе скорости оседания фракталоподобных агрегатов, а также при анализе их термо- и фотофоретического движения. Представлены приложения теории для описания движения фракталоподобных агрегатов углеродосодержащих частиц на высотах верхней тропосферы – нижней и средней стратосферы.

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

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ КОРИЧНЕВОГО УГЛЕРОДА В ДЫМОВОМ АЭРОЗОЛЕ ПО ДАННЫМ МНГОВОЛНОВЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Н.А. Головушкин¹, И.Б. Коновалов¹, И.Н. Кузнецова², В.С. Козлов³, В.Н. Ужegov³, М.И. Нахаев²

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

²*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, г. Москва, Россия*

³*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
golovushkin@ipfran.ru*

Коричневый углерод (BrC) является важной абсорбирующей компонентой дымового аэрозоля, которая существенно влияет на его оптические и радиационные свойства и потому должна адекватно учитываться в климатических расчетах. При этом относительный вклад BrC в абсорбцию солнечного излучения дымовым аэрозолем чрезвычайно изменчив и зависит как от условий горения, так и от атмосферных окислительных процессов. В данной работе выполнен анализ многоволновых измерений абсорбционной аэрозольной оптической толщи, сделанных спутниковыми инструментами OMI и MISR над территорией Сибири, в результате чего разработан и апробирован метод оценки содержания BrC в дымовом аэрозоле. Метод предполагает использование данных спутниковых измерений для расчета абсорбционных показателей Ангстрема и включает в себя процедуры учета как изменчивости химического и дисперсного состава аэрозоля на основе ансамблевых расчетов его оптических свойств с использованием теории Ми, так и фотохимического «возраста» аэрозоля на основе расчетов с химико-транспортной моделью. Полученные в рамках данного исследования оценки содержания BrC в составе сибирского дымового аэрозоля сопоставлены с соответствующими оценками по данным зондирования атмосферы на станциях AERONET, а также с измерительными оценками по данным экспериментов в Большой аэрозольной камере ИОА СО РАН.

Работа выполнена за счет гранта РНФ (проект № 19-77-20109). Анализ данных измерений AERONET выполнен при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-05-00911).

ОЦЕНКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ ДЫМОВ ПИРОЛИЗНОГО И СМЕШАННОГО ГОРЕНИЯ

В.Н. Ужегов^{1,2}, В.С. Козлов^{1,2}, И.Б. Коновалов², Вас.В. Польшкин^{1,2}, В.П. Шмаргунов^{1,2}

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

²*Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия
uzhegov@iao.ru, vkozlov@iao.ru, konov@ipfran.ru, pv@iao.ru, vpsh@iao.ru*

Рассмотрены результаты измерений оптических характеристик дымового аэрозоля в Большой Аэрозольной Камере, полученного в режимах пиролизного и смешанного горения лесных горючих материалов. В ходе сгорания дымов исследованы взаимные связи между коэффициентами аэрозольного ослабления в диапазоне длин волн 0,4–3,9 мкм и коэффициентами поглощения и рассеяния в спектральной области 0,46–0,63 мкм.

Целью работы являлось определение спектральных зависимостей альbedo однократного рассеяния в искусственных дымах. Алгоритм решения задачи включал три этапа.

I. Для измеренных спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления оптического излучения решалась обратная задача. Определены экстремумы для распределения сечений и объемов аэрозольных частиц.

II. Для полученных аэрозольных фракций методом численного моделирования рассчитывались спектральные коэффициенты аэрозольного ослабления, поглощения и рассеяния в диапазоне длин волн от 0,45 до 3,9 мкм. Проведен подбор спектральных зависимостей оптических констант вещества аэрозольных частиц для минимизации различий между измеренными и рассчитанными коэффициентами аэрозольного ослабления. При этом удалось добиться максимального совпадения величины измеренных и рассчитанных показателей Ангстрема для коэффициентов поглощения в диапазоне 0,46–0,63 мкм.

III. Проведена оценка спектральных зависимостей коэффициентов аэрозольного поглощения и альbedo однократного рассеяния.

Для дымов тлеющего горения величина коэффициентов рассеяния во всем спектральном диапазоне выше коэффициентов поглощения, альbedo однократного рассеяния изменяется от 0,6 до 0,95; для дымов смешанного горения альbedo варьирует от 0,2 до 0,7.

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

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЯ И САЖИ В ХОДЕ КОМПЛЕКСНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СОСТАВА ТРОПОСФЕРЫ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ

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

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

В рамках комплексного эксперимента с 4 по 17 сентября 2020 г. на самолете-лаборатории Ту-134 «Оптик» были проведены исследования состава аэрозоля в тропосфере Российского сектора Арктики. Комплекс аппаратуры на борту самолета для регистрации вертикального распределения рассеивающих и поглощающих свойств аэрозоля включал в себя: нефелометр ФАН-М (коэффициент аэрозольного рассеяния под углом 45° на длине волны 0,53 мкм); многоволновой дифференциальный аэталометр МДА-02 и аэталометр АЕ33-7 (Magee Scientific, USA) (измерение массовой концентрации сажи). Впервые в нашей практике были проведены измерения вдоль побережья по маршруту: Новосибирск – Архангельск – Нарьян-Мар – Сабетта – Тикси – Анадырь – Якутск – Томск и над морями Северного ледовитого океана (СЛО). В период экспедиции были осуществлены измерения над пятью морями СЛО: Баренцевым, Карским, морем Лаптевых, Восточно-Сибирским и Чукотским. В докладе приводится предварительный анализ вертикальных профилей аэрозоля и сажи.

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

20 ЛЕТ ИЗУЧЕНИЯ БИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В НАЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

**А.С. Сафатов¹, И.С. Андреева¹, Г.А. Буряк¹, В.М. Генералов¹, И.Г. Воробьева¹, Н.А. Лаптева¹,
С.Е. Олькин¹, И.К. Резникова¹, Л.И. Пучкова¹, Н.А. Соловьянова¹, Т.В. Теплякова¹, В.А. Терновой¹,
А.С. Козлов², С.А. Попова², В.И. Макаров², Б.С. Смоляков³, И.А. Суторихин⁴, В.Ф. Рапута⁵,
А.Ф. Павлов⁶, Т.Ю. Аликина⁷, М.Р. Кабилов⁷, Д.В. Пышный⁷**

¹*ФБУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия*

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

³*Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Россия*

⁴*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия*

⁵*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

⁶*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

⁷*Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

safatov@vector.nsc.ru, alikina@niboch.nsc.ru

Начиная с 2001 г. большим коллективом исследователей проводятся исследования биогенной компоненты атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири и других регионов в наземном слое атмосферы.

Проведены мониторинговые исследования (в трех точках пробоотбора: пос. Ключи, Завьялово и Кольцово Новосибирской обл.). Фиксировались массовые концентрации аэрозоля и биогенного материала (по суммарному белку), количество и разнообразие жизнеспособных микроорганизмов, а в ряде проб и химический состав аэрозольных частиц (основные ионы, элементы, органические соединения). В ходе мониторинга выявлены долгосрочные тренды определяемых величин, их внутригодовые динамики, влияние на наблюдаемые величины некоторых источников биоаэрозолей (локальные пожары, эмиссия промышленными источниками и др.). Для некоторых образцов проведен анализ содержащегося в них материала. Изучено аккумулятивное биогенных компонентов атмосферного аэрозоля в снежном покрове.

Проведены исследования проб воды и воздуха прибрежной территории горько-соленых озер Алтайского края, оз. Байкал и г. Геленджик.

С использованием математических моделей распространения примесей в приземном слое проведен анализ возможных источников биоаэрозолей.

В работе приводятся основные результаты, полученные за этот период, проводится их обсуждение.

Работа выполнена при частичной поддержке междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35-2012, 103-2003, 64-00, проекта МНТЦ № 3275, проекта ФЦП № 2008-02.515.11.5087, госзадания Роспотребнадзора, РФФИ Микромир № 19-05-50032.

КОНЦЕНТРАЦИЯ И РАЗНООБРАЗИЕ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В АЭРОЗОЛЕ НАД ВАСЮГАНСКИМИ БОЛОТАМИ И НАД КАРАКАНСКИМ ЛЕСНЫМ МАССИВОМ

И.С. Андреева, А.С. Сафатов, Н.А. Соловьянова, Л.И. Пучкова, Г.А. Буряк, О.В. Охлопкова

*ФБУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия
andreeva_is@vector.nsc.ru*

Проведен сравнительный анализ концентраций и разнообразия культивируемых микроорганизмов в аэрозолях, отобранных над Васюганскими болотами и над Караканским лесным массивом 14 сентября 2018 г. на высотах до 7000 м. Образцы атмосферного воздуха отбирали в импинджеры, содержащие раствор Хенкса

(ICN iomedicals), с применением лаборатории «Оптик-Э» на самолете ТУ-134. Для микробиологического анализа образцы аэрозолей высевали на селективные среды и инкубировали при 28–30 и 6–9 °С в течение 20 суток. В исследуемых аэрозолях определена численность и разнообразие выделенных бактерий, плесневых и дрожжеподобных грибов. Средние концентрации культивируемых микроорганизмов в исследуемых аэрозолях составляли $4,427 \pm 0,283 \lg \text{КОЕ/м}^3$. В пробах, взятых в двух исследуемых регионах, имеющих контрастно отличающиеся природные условия, состав микробиоты и концентрация на высотах 500 и 1000 м были сходны, на 2–3 порядка превышая среднегодовые данные, полученные в ранее проведенных мониторинговых исследованиях. Преобладающими были бактерии рода *Acinetobacter* и психротолерантные дрожжи рода *Aureobasidium*.

Сходство состава и концентрации микробиоты в образцах аэрозолей двух отдаленных сравниваемых регионов может быть свидетельством масштабного горизонтального переноса слоев атмосферного воздуха контаминированного микроорганизмами. Особое значение имеет обнаруженная в аэрозолях высокая концентрация космополитных дрожжей рода *Aureobasidium*, представители которого известны также как возбудители тяжелых микозов.

Работа выполнена в рамках госзадания Роспотребнадзора.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

О.В. Охлопкова¹, И.С. Андреева¹, Г.А. Буряк¹, С.Е. Олькин¹, И.К. Резникова¹, Т.В. Теплякова¹,
А.С. Сафатов¹, А.С. Козлов², Б.Д. Белан³, Т.Ю. Аликина⁴, М.Р. Кабилов⁴, Д.В. Пышный⁴

¹ФБУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., 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

⁴Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, г. Новосибирск, Россия
ohlopkova_ov@vector.nsc.ru

Благодаря современным методам секвенирования произошло развитие такого раздела биологии, как метагеномика. Метагеномика – это та область науки, которая позволяет изучать сообщества микроорганизмов в совокупности и фиксировать присутствие даже тех микроорганизмов, которых невозможно культивировать на данный момент с помощью классической микробиологии.

Хотелось бы отметить, что среди объектов, которые уже были ранее исследованы методами метагеномики, атмосферные аэрозоли встречаются крайне редко. Хотя результаты многочисленных исследований доказывают, что в атмосфере присутствует большое количество биогенных компонентов, в частности микроорганизмов. Численные оценки показывают, что микроорганизмы в составе аэрозольных частиц могут находиться в атмосфере длительное время. Во время витания микроорганизмы подвергаются воздействию различных факторов. Существует мнение, что именно длительное пребывание в атмосферном аэрозоле является одной из основных причин изменчивости микроорганизмов, возникновения новых штаммов, в том числе патогенных для человека. К сожалению, эти аспекты мало изучены. Целью данной работы является: определение закономерностей в годовой динамике биогенных компонентов в составе атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири.

В ходе мониторинга выявлены определенные тенденции в отношении исследуемых величин. В пробах выявлены микроорганизмы широко распространенных родов, таких как *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Nocardia*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*, актиномицеты, дрожжи и плесневые грибы. Создан фундаментальный раздел для мониторинга и прогнозирования неблагоприятных атмосферных факторов для населения.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАСТВОРИМЫХ ЧАСТИЦ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ОБИ НА ПРОФИЛЕ ОТ г. БАРНАУЛА ДО г. САЛЕХАРДА В ФЕВРАЛЕ 2020 г.

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

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
vshvch@ocean.ru, soil@green.tsu.ru, Oleg.Pokrovski@get.omp.eu

Нерастворимые частицы в снежном покрове Западной Сибири были изучены на субмеридиональном 2800-км профиле от г. Барнаула до г. Салехарда с 8 по 19 февраля 2020 г. Пробы снега были отобраны в 36 точках с равномерным шагом 80 км от поверхности снежного покрова до границы с почвой (за исключением нижних 1–2 см). Снег отбирали в чистые полиэтиленовые пакеты и транспортировали в г. Томск при отрицательной температуре. В лаборатории снег растапливали и фильтровали через предварительно взвешенные лавсановые ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм. Состав частиц был изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SEM (Tescan) с микрозондовой приставкой INCA Energy (Oxford Instruments).

В фоновых районах концентрация нерастворимых частиц в снеге была ниже 5 мг/л. Это незначительно выше, чем фоновые для снежного покрова Арктики значения. Значительно более высокие концентрации частиц были вблизи городов и на отдельных участках профиля, расположенных вблизи районов добычи углеводородного сырья. Взвешенное вещество снега состоит в основном из биогенных и литогенных частиц с примесью антропогенных частиц (пепла и агрегатов черного углерода); доля антропогенных частиц повышается вблизи городов и районов активной добычи углеводородного сырья.

Авторы благодарны А.В. Сорочинскому и Л.Г. Колесниченко, принимавшим участие в экспедиционных исследованиях. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50096 Микромир).

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ТРЕНДЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ СУММАРНОГО БЕЛКА И ОРГАНИЧЕСКОГО/НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В АЭРОЗОЛЕ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Г.А. Буряк¹, А.С. Сафатов¹, С.Е. Олькин¹, И.К. Резникова¹, В.И. Макаров², С.А. Попова², А.Ф. Павлов³

¹ФБУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия

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

³Новосибирский государственный университет, Россия
buriyak@vector.nsc.ru

Для анализа данных по приземным концентрациям органического и неорганического углерода, а также суммарного белка в атмосферном аэрозоле юга Западной Сибири с 2001 г. в пос. Ключи (пригород Новосибирска с координатами 54°50,2' с.ш., 83°14,2' в.д.) осуществлялся отбор аэрозолей в течение 30 сут (4 серии в год). Отбор осуществлялся в течение суток через волокнистые фильтры типа АФА-ХА-20 с объемной скоростью 13 м³/ч для анализа массы осажденного аэрозоля и содержания суммарного белка в нем и через стекловолоконные фильтры с объемной скоростью 1,8 м³/ч для определения содержания органического и неорганического углерода в пробах. Масса осажденного аэрозоля определялась гравиметрическим методом. Концентрации органического и элементного углерода определялись методом реакционной хроматографии. Массы суммарного белка в пробах определялись с использованием флуоресцентного красителя.

Анализ полученных данных долгосрочного мониторинга концентрации атмосферного аэрозоля и его некоторых составляющих в пос. Ключи Новосибирской обл. позволил выявить тенденции долгосрочных и сезонных изменений концентраций атмосферного аэрозоля, органического и неорганического углерода, суммарного белка, а также соотношений этих величин.

Работа выполнена в рамках госзадания Роспотребнадзора.

МНОГОЛЕТНИЕ ЛИДАРНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЗОНА НАД ТОМСКОМ

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

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

Представлены результаты лидарных измерений вертикального распределения озона (ВРО) над городом Томск на Сибирской лидарной станцией (56,5° с.ш., 85,0° в.д.), полученные в 2017–2020 гг. на высотах верхней тропосферы – нижней стратосферы и стратосферы. Результаты лидарного зондирования озона на длинах волн 299/341 нм и 308/353 нм, производимые по методу дифференциального поглощения и рассеяния с температурной и аэрозольной коррекцией, сопоставлены с данными метеорологических спутников MetOp и AURA. Выполнен анализ сопоставлений лидарных и спутниковых измерений. Проведены исследования влияния реальной температуры со спутников MetOp и AURA на восстановление профилей озона, используя последние данные зависимости сечения поглощения от температуры. Выявлены многолетние сезонные вариации концентрации озона на высотах стратосферы и верхней тропосферы – нижней стратосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-45-700003.

АЭРОЗОЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

М.Н. Алексеева, И.Г. Яценко

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

Сгорание углеводородов и живой растительной биомассы приводит к поступлению в тропосферу аэрозолей. При сжигании попутного нефтяного газа (ПНГ) на факельных установках в атмосферный воздух поступает большое количество вредных веществ, включая сажу, оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы, сероводород, бутан, гексан, метан, этан и бензапирен. Дым от сгорающих растительных материалов представляет собой аэрозольно-газовую смесь поллютантов в составе оксидов углерода, азота, серы и частиц сажи, золы, пепла, смолы.

Газовые смеси от пожаров и факелов поднимаются вверх в атмосферу, сопутствуя парниковому эффекту. Для расчета вертикального и горизонтального переноса аэрозолей предложена следующая методика.

1. Создание ГИС с указанием источников аэрозолей: векторные слои лесных пожаров и действующих факельных установок по сжиганию ПНГ на нефтедобывающей территории Каргасокского и Парабельского районов Томской области.

2. Расчет параметров горизонтального и вертикального распространения продуктов горения на основе КС MODIS, Landsat-8 и профилей лидара CALIOP.

Например, по данным лидара CALIOP можно определить высоту аэрозольного загрязнения. Установлено, что при выгорании 0,5 км² смешанного леса дым от пожара поднимается на высоту 1,3 км. При сжигании ПНГ в результате выброса высокотемпературной газовой смеси из трубы диаметром 0,5 м высота распространения индустриальной пыли с микрочастицами сажи достигает 3 км.

Таким образом, пространственный анализ спутниковых данных позволяет достоверно определить показатели и состояние природной среды нефтедобывающих районов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН (Проект V.46.2.1), финансируемого Министерством науки и высшего образования РФ.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В АТМОСФЕРЕ МЫСА БАРАНОВА

О.И. Хуриганова¹, Л.П. Голобокова¹, Н.А. Онищук¹, Т.В. Ходжер¹, В.Ф. Радионов²,
Д.Д. Ризе², С.М. Сакерин³, Ю.С. Турчинович³

¹Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

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

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

Рассматривается химический состав (ионы, элементы) в аэрозоле приземного слоя атмосферы Ледовой базы «Мыс Баранова» на архипелаге Северная Земля. Сбор проб аэрозоля выполняется с октября 2017 г. На данный момент собрано и проанализировано 88 проб атмосферного аэрозоля. Суммарная концентрация ионов изменялась в пределах 0,13–4,1 мкг/м³, суммы микроэлементов – в диапазоне от 7,6 до 110 нг·м⁻³. Наиболее высокие суммы концентраций ионов в аэрозоле содержатся в переходные периоды между полярной ночью и полярным днем. Преобладающими в составе аэрозоля, были ионы Na⁺, Cl⁻ и SO₄²⁻. Состав элементов условно можно разделить на группы с концентрациями 1) > 1,0 нг·м⁻³; 2) 0,1–1,0 нг·м⁻³; 3) 0,01–0,1 нг·м⁻³; 4) < 0,01 нг·м⁻³. Около 15% присутствующих в составе атмосферного аэрозоля микроэлементов имеют концентрацию более 1,0 нг·м⁻³, преобладающее число элементов имеют концентрацию < 0,1 нг·м⁻³. Рассчитаны факторы обогащения элементов. Наблюдается сезонная изменчивость коэффициентов обогащения: их значения снижаются в более теплый период года.

Аналитические работы выполнены с применением аналитического оборудования приборного центра коллективного пользования физико-химического ультрамикрoанализа ЛИН СО РАН и подпрограммы «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Арктике и Антарктике».

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАРУШЕНИЯ ОБОНЫЯНИЯ У РЫБ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МИКРОЧАСТИЦ САЖИ

Н.П. Судаков, О.В. Вокин, Е.Д. Бедошвили, Е.В. Лихошвай, И.В. Клименков

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

npsudakov@gmail.com

Сжигание топлива, других материалов и лесные пожары приводят к высвобождению в атмосферу микро-частиц сажи. Осаждаясь на поверхности водоемов и переходя в водную фазу, компоненты сажи могут воздействовать на гидробионтов. Оценивали экологический риск микро-частиц сажи для ихтиофауны оз. Байкал. С помощью методов лазерной конфокальной микроскопии показано, что содержание озерного сига *Coregonus lavaretus* (Dybowski, 1876) в водной среде с микро-частицами печной сажи (200 мкг/л) в течение 48 ч приводит к перестройкам периферического отдела их обонятельной системы. У данных рыб снижается функциональная активность митохондрий клеток обонятельных розеток и повышается продукция активных форм кислорода, что может приводить к развитию энергодефицита в клетках, их повреждению и гибели, ослабляя функцию хеморецепторной системы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что после длительного воздействия взвесей сажи гидробионты могут терять способность с помощью обоняния воспринимать жизненно важные пищевые сигналы, феромоны, а также поллютанты. Вследствие этого токсичные вещества могут длительное время накапливаться в организме, нарушая физиологию и поведение рыб. Разработанные подходы будут использованы для оценки влияния природных и антропогенных загрязнителей на функциональное состояние гидробионтов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 19-05-50017).

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МИКРОЧАСТИЦ ПЕЧНОЙ САЖИ

**К.Ю. Арсентьев, Н.П. Судаков, О.В. Вокин, В.И. Егоров, М.М. Масленникова,
И.В. Клименков, Е.В. Лихошвай**

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия
arskir@gmail.com*

Микрочастицы сажи, образующиеся при сгорании различного топлива и твердых бытовых отходов, могут различаться по размерным характеристикам и элементному составу и, попадая из атмосферы в гидросферу, иметь разный токсический эффект на гидробионтов. Кроме того, микрочастицы сажи являются сорбентом для органических соединений (включая поллютанты), обладают гено-, цито- и эмбриотоксическим потенциалом, который зависит от их структуры и химического состава. Мы исследовали печную сажу, образованную в результате сгорания древесного топлива, методами сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным спектрометром, просвечивающей электронной и сканирующей зондовой микроскопией. Анализ, проведенный комплексом микроскопических методов, показал, что образцы печной сажи преимущественно состоят из единичных частиц (от нескольких десятков до сотен нанометров) округлой формы, покрытых аморфной составляющей. Более крупные (несколько микрометров) конгломераты частиц обычно объединены неструктурированным матриксом. Микроэлементный анализ крупных (более нескольких микрометров) частиц, показал повышенное содержание С, Al, Si, S, Ca и К, а некоторые фазы имеют в своем составе Fe, Mg P, Cl и Mn до нескольких процентов массового содержания. Этой работой мы покажем необходимость использования комплекса современных методов для получения более полной характеристики исследуемых микрочастиц. Данные о структуре и микроэлементном составе сажи различного генезиса позволят охарактеризовать механизмы взаимодействия компонентов сажи с биологическими объектами водной среды и оценить их экологический риск для гидробионтов озера Байкал.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 19-05-50017).

ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА В КОЖУ ЧЕЛОВЕКА ИСПОЛЬЗУЯ «СТОКС-ФОТОГРАФИЮ»

И.В. Самохвалов, А.П. Стыкон, Р.В. Ни

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
lidar@mail.tsu.ru stikon@yandex.ru roman.ni96@mail.ru*

Рассматривается метод экспериментальной оценки глубины проникновения поляризованного света в кожу человека. Для этого используется стенд «Стоксовый поляриметр изображений» по функциональным возможностям не уступающий зарубежным [1, 2]. Для получения Стокс-фотографий выделенный участок поверхности объекта освещается излучением с четырьмя разными поляризациями. Цифровая фотокамера оснащена поляризационной приставкой, позволяющей путем последовательных снимков получить исходные данные для расчета четырех параметров Стокса для каждого пикселя на ПЗС-матрице фотокамеры. В докладе приводятся примеры псевдоизображений (в виде распределения соответствующих параметров Стокса) заживших участков поврежденной кожи руки, папиллярного рисунка, пигментных пятен и татуировок.

1. Mu T., Zhang C., Liang R. // J. Opt. 2015. V. 12, N 17. P. 125708.

2. Hsu W., Myhre G., Balakrishnan K., Brock N. // Opt. Express. 2014. V. 22, N 3. P. 3063–3074.

ПОЖАРЫ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РТУТЬЮ

Е.Е. Ляпина

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

Многолетние исследования экогеохимических последствий лесных пожаров показывают активный вынос с дымовыми шлейфами многих опасных токсикантов, таких как искусственные радионуклиды и тяжелые металлы, в том числе и ртуть. Возросшее количество лесных пожаров, захватывающих миллионы гектар площади, служит источником дополнительной ртутной нагрузки как в региональном, так и глобальном масштабе. В работе приводятся данные по содержанию ртути в разных горючих компонентах биогеоценоза на территории Томской области: дерновом слое почв, лесной подстилке, мхах, лишайниках, хвое, листьях, коре и древесине деревьев, торфе. Приводится оценка накопленной ртути в фитомассе лесных горючих материалов, в также оценка эмиссии поллютанта в аэрозольных выбросах лесных пожаров Томской области.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АТМОСФЕРЫ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ

А.С. Козлов¹, В.С. Козлов², О.Б. Поповичева³, М.В. Панченко², Д.Г. Чернов², В.П. Шмаргунов²,
J. Schnelle-Kreis⁴, H. Czech⁵, R. Zimmermann^{4,5}

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

⁴*Helmholtz Zentrum Munchen, Munchen, Germany*

⁵*University of Rostock, Rostock, Germany*

kozlov@kinetics.nsc.ru

Ежегодно наблюдаемые обширные лесные пожары, дым которых распространяется на сотни километров, критически увеличивают аэрозольную нагрузку атмосферы, могут значительно влиять на здоровье населения, приводить к значительным климатическим последствиям. 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 в БАК впервые проводится моделирование фотохимических процессов, происходящих в атмосфере. В 2019 г. 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. Разработана методика, обеспечивающая уровень генерации озона, необходимый для фотохимического равновесия газофазных процессов NO–NO₂–O₃ в атмосфере. Комплексом аппаратуры анализируется контролируемое поступление аэрозоля, образующегося в процессах горения и пиролиза лесных горючих материалов. Условия БАК позволяют проводить контролируемые аэрозольные наблюдения длительностью до 48 ч [1]. Представлены результаты тестовых экспериментов с аэрозолем и летучими органическими соединениями. Анализируется в дымовой камере динамика других параметров, используемых при исследованиях фотохимических процессов и старения дымов.

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., Eleftheriadis 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 атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 4. С. 323–331.

СРЕДНИЙ (2007–2016 гг.) СЕЗОННЫЙ ХОД ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД АРКТИКОЙ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГОМ И ТОМСКОМ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ Aura MLS И M-124

О.Е. Баженов

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

Спутниковые (Aura) измерения общего содержания озона (ОСО) прибором OMI проводятся при солнечном освещении и прерываются в условиях полярной ночи. Однако, ОСО можно рассчитать из спутниковых профилей озона, полученных в микроволновом диапазоне прибором MLS. Для этого отношение смеси озона необходимо перевести в счетную концентрацию, проинтегрировать профиль счетной концентрации по высоте до получения ОСО в мол./см², и преобразовать его в е.Д.: 1 е.Д. = 2,69 · 10²⁰ мол./см². Были рассчитаны временные ряды для пунктов: Эврика (EUR); Нью-Олесунн (NAD); Туле (THU); Соданкюла (SDA); Санкт-Петербург (SPB), Томск (TSK). Ряды были посчитаны для периода 2007–2016 гг. и усреднены для получения средних сезонных ходов. Весенние максимумы больше по величине для пунктов западного полушария (EUR и THU). Весенние максимумы для точек восточного полушария (SDA, SPB и TSK) – меньше по величине и проявляются, так же как и для точек западного полушария, в начале марта, за исключением NAD, где максимум наблюдается в середине марта и по величине занимает промежуточное значение между пунктами EUR/THU и SDA/SPB/TSK. Осенние минимумы в основном близки как по значению, так и по времени проявления. Осенний минимум для Томска – несколько меньше по величине. Также проводится сравнение с наземными измерениями с помощью озонметра M-124. Измеренная и восстановленная сезонные зависимости имеют одинаковые по величине весенние максимумы, но проявляются они в начале (Aura MLS) и в конце (M-124) марта. Осенний минимум ОСО из данных Aura MLS – меньше по величине и проявляется в начале октября; минимум из измерений M-124 проявляется в середине октября.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Т.О. Перемигина, И.Г. Яценко

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

Проведена оценка возможности применения спутниковых данных для мониторинга состояния растительного покрова территории нефтегазодобычи Томской области. Данный регион относится к числу труднодоступных и в условиях непрерывного воздействия предприятий нефтегазового комплекса на экосистему, соответственно увеличивается и потребность качественного мониторинга состояния растительного покрова.

В работе обоснован выбор источника спутниковых данных для решения задачи диагностики состояния и изменчивости спектральных характеристик растительного покрова – продукт MOD13Q1 спектрорадиометра MODIS, с помощью которых были вычислены вегетационные индексы EVI для территорий нефтегазодобычи Томской области за многолетний период.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИЗЕМНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ЛЕСНЫХ И СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТАХ ЕТР

Т.М. Кудерина¹, О.Г. Чхетиани², Д.П. Губанова², Л.О. Максименков², А.В. Кудиков¹, С.Б. Сулова¹

¹*Институт географии РАН, г. Москва, Россия*

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

Состояние приземной атмосферы европейской России на современном этапе определяется атмосферной циркуляцией и характером подстилающей поверхности, представленной природными и антропогенными ландшафтами. Экспериментальное определение массовых концентраций аэрозолей в ландшафтах основных природных зон ЕТР выявляет геохимическое состояние приземной атмосферы. Полевые исследования проводились

в ключевых точках наблюдений с использованием аэрозольного комплекса измерительной аппаратуры ИФА им. А.М. Обухова РАН и ИГ РАН, позволяющего проводить измерения аэрозоля и параллельный отбор проб воздуха на фильтры АФА-ХА20, для последующего определения его геохимического состава методом ISP-MS. Одновременно проводились измерения текущих метеопараметров, наземные геофизические и геохимические измерения подстилающей поверхности (опробование ключевых компонентов геохимических ландшафтов), визуальная съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), привязка к данным ДЗЗ, расчет обратных траекторий движения воздушных масс (модель HISPLYT NOAA). Результаты экспериментальных измерений позволили получить данные о фоновом состоянии приземной атмосферы лесных и степных зон ЕТР и выявить области антропогенного влияния на атмосферу при локальном загрязнении и трансграничном переносе.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 19-05-50110 «Геофизическая и геохимическая дифференциация аэрозолей в приземной атмосфере природных и антропогенных ландшафтов европейской России».

ГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ВЫСОКОГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ КАТУНСКОГО ХРЕБТА

Т.М. Кудерина

*Институт географии РАН, г. Москва, Россия
kuderina@igras.ru*

Современные изменения климата приводят к деградации ландшафтов в умеренном поясе и, как следствие, к увеличению запыления атмосферы. Расположенная в центре Евразии ландшафтно-геохимическая арена Алтая представлена горной системой и окружающими ее значительно иссушенными и освоенными равнинами. Высокогорные ландшафты Алтая выступают как атмогеохимические барьеры при движении воздушных масс и являются своеобразными природными фильтрами, улавливающими атмосферное загрязнение. Геохимический состав атмосферных аэрозолей высокогорных ландшафтов Катунского хребта выявляет современное состояние приземной атмосферы. Экспериментальные исследования проводились выше влияния пограничного слоя с использованием полевого аэрозольного комплекса измерительной аппаратуры ИГ РАН, позволяющий проводить измерения аэрозоля в пунктах наблюдений с параллельным отбором проб воздуха на фильтры АФА-ХА20, для последующего определения его геохимического состава методом ISP-MS. Одновременно проводились измерения текущих метеопараметров с использованием данных ДЗЗ и расчетом обратных траекторий движения воздушных масс (HISPLYT NOAA). Для определения влияния подстилающей поверхности проводилось геохимическое опробование ключевых компонентов высокогорных ландшафтов. В результате экспериментальных исследований определили фоновое состояние приземной атмосферы высокогорий и выявили антропогенное локальное загрязнение и трансграничный перенос.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 19-05-50055 «Диагностика природных (первичные биологические аэрозоли) и антропогенных (микропластик) микрочастиц в геосредах внутриконтинентальных экосистем на основе ландшафтно-интерпретационного подхода».

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ В ПРИВОДНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ оз. БАЙКАЛ ЛЕТОМ 2019 г.

В.В. Цыдыпов¹, А.С. Заяханов¹, Г.С. Жамсуева¹, А.Л. Дементьева¹, Т.М. Ходжер²

¹*Институт физического материаловедения СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия*

²*Лимнологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
tsydyrov@inbox.ru*

Представлены экспериментальные исследования диоксида серы (SO₂) в приводном слое атмосферы по всей акватории оз. Байкал на НИС «Академик В.А. Коптюг» с 24 июля по 4 августа 2019 г. в период лесных пожаров на севере Иркутской области, Красноярского края, Якутии и Бурятии.

Повышенные концентрации диоксида серы отмечены на участках маршрута Листвянка–Ольхон, мыс Мужинай, г. Северобайкальск, бухта Сосновка, пос. Турка и с. Харауз.

Проведен анализ обратных траекторий движения воздушных масс, рассчитанных по модели HYSPLIT. Показано, что основной вклад в повышение содержания SO₂ на севере Байкала вносили близкорасположенные очаги лесных пожаров на восточном побережье озера, в районе бухты Сосновка. При прохождении НИС вблизи

бухты Сосновка 29 июля из-за близости очагов лесного пожара наблюдались наиболее высокие по всему маршруту концентрации SO_2 до 47 мкг/м^3 . Кроме того выявлено, что занос воздушных масс происходил с территорий крупных населенных пунктов и промышленных центров Республики Бурятия, таких как Улан-Удэ, Гусиноозерск, Каменск, Селенгинск, Кабанск и др.

Работа выполнена в рамках базового финансирования проекта № 0336-2020-0007 и при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-29-05044 офи_м).

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ АЭРОЗОЛЕЙ В ПРИЗЕМНОМ ВОЗДУХЕ г. МОСКВЫ: СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В 2019 И 2020 гг.

Д.П. Губанова¹, М.А. Иорданский², Т.М. Кудерина³, А.И. Скороход¹, Н.Ф. Еланский¹, В.М. Минашкин⁴

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

²АО «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова», г. Москва, Россия

³Институт географии РАН, г. Москва, Россия

⁴АО «ВНИИХТ», г. Москва, Россия

gubanova@ifaran.ru, dgubanova@mail.ru

Элементный состав аэрозольных частиц может являться индикатором при идентификации различных источников загрязнения атмосферы в больших городских агломерациях.

Рассмотрены результаты изучения элементного состава приземных аэрозолей г. Москвы. Сезонные наблюдения осуществляли летом и осенью 2019 г., зимой и весной 2020 г. в ИФА РАН (Пыжевский пер., 3). Анализ аэрозольных проб на элементный состав производили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Корреляционный анализ выполнен в зависимости от сезона и с учетом вариаций микрофизических параметров аэрозолей. Рассчитаны коэффициенты обогащения и аэрозольной концентрации элементов в аэрозольных частицах [1], сопоставлены данные разных сезонов. Обсуждаются причины сезонной изменчивости элементного состава приземных аэрозолей Московского мегаполиса и возможные источники с учетом метеорологических и синоптических условий, анализ которых проводился с использованием метода обратных траекторий движения воздушных масс, рассчитанных с помощью модели NOAA HYSPLIT [2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-05-00352 и № 19-05-50088.

1. Gubanova D.P. et al. Experimental Studies of Aerosols in the Atmosphere of Semiarid Landscapes of Kalmykia: 2. Landscape–Geochemical Composition of Aerosol Particles // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2018. V. 54(10).

2. Draxler R.R., Hess G.D. An overview of the Hysplit_4 modeling system for trajectories, Dispersion, and deposition // *Aust. Met. Mag.* 1998. V. 47. P. 295–308.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ ПОДМОСКОВЬЯ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ ЭМИССИЙ ОТ ГОРОДСКИХ ИСТОЧНИКОВ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ 2019–2020 гг.

Д.П. Губанова¹, М.А. Иорданский², П.П. Аникин¹, А.И. Скороход¹, Н.Ф. Еланский¹, В.М. Минашкин³

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

²АО «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова», г. Москва, Россия

³АО «ВНИИХТ», г. Москва, Россия

gubanova@ifaran.ru, dgubanova@mail.ru

Исследуется влияние московских городских источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на элементный состав, массовую концентрацию и микрофизические характеристики приземного аэрозоля Подмосковья. Сопоставляются результаты сезонных наблюдений, проведенных в нетипичных погодных условиях 2019 и 2020 гг. в ИФА РАН (Пыжевский пер., 3) и на ЗНС ИФА РАН (Одинцовский р-н МО). Элементный анализ суточных аэрозольных проб проводили с применением метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Дисперсный состав и счетную концентрацию аэрозольных частиц регистрировали непрерывно с 5-минутным интервалом с помощью лазерных спектрометров и оптико-электронных аэрозольных счетчиков. Массовую концентрацию рассчитывали через счетную, а также определяли гравиметрическим способом.

Выполнено сравнение дисперсного состава, счетной и массовой концентрации, элементного состава аэрозолей в приземном слое атмосферы в Москве и Подмоскowie с учетом нетипичных метеорологических и синоптических условий, сложившихся в Московском регионе в 2019–2020 гг. Анализируются пространственно-временная изменчивость элементного состава аэрозольных частиц, особенности вариаций их счетной и массовой концентрации. Выявлены периоды с аномально высокой концентрацией аэрозолей в атмосфере Подмоскowie по сравнению с приземным воздухом г. Москвы, обсуждаются возможность и условия переноса аэрозольных загрязнений из столичного мегаполиса в загородную зону. Рассмотрены ситуации более высокого содержания некоторых элементов в аэрозолях Подмоскowie по сравнению с городскими аэрозолями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-05-00352 и № 19-05-50088.

ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ В СОСТАВЕ АНТРОПОГЕННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА СОСТОЯНИЕ ТКАНЕЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ

А.М. Игнатова¹, М.А. Землянова²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

²Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, г. Пермь, Россия
iampstu@gmail.com

Темпы роста производства нанодисперсных материалов и товаров с их содержанием за последние 10 лет ежегодно увеличивались на 5–8%. При этом в общей доле продукции, доля содержащей частицы оксидного состава составила 35–40%. При этом за весь проанализированный период времени не было разработано и запущено в массовое производство общедоступных средств для защиты от воздействия наноразмерных частиц. Более того, до сих пор не разработаны стандарты и нормативы защиты от такого воздействия. Для создания таких, а также оценке эффективности средств защиты в дальнейшем, необходимы данные о воздействии оксидных наноразмерных аэрозолей на состояние тканей внутренних органов. Сравнительные исследования авторов по установлению морфологических изменений тканей внутренних органов при воздействии нанодисперсных оксидов легких и переходных металлов и неметаллов, проведенные методом *in vivo*, позволили установить, что: воздействие нанодисперсных частиц оксидов переходных металлов приводит к морфологическим изменениям тканей тимуса, выраженных в форме иммунного ответа; оксидов легких металла – тканей костного мозга, выраженного в форме гиперплазии с преобладанием миелоидного ростка с частичной редукцией жировой ткани и костных балок; оксидов неметаллов – тканей надпочечников, выраженных как полнокровие синусоидных капилляров. При воздействии всех групп наноразмерных оксидных частиц отмечаются изменения морфологии тканей легких, причем в наибольшей степени изменения альвеолярного рисунка наблюдаются при воздействии наноразмерных частиц оксидов переходных металлов.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЯ ИЗ МИНЕРАЛА ЦИРКОНА В УСЛОВИЯХ ТРОПОСФЕРЫ

В.С. Захаренко¹, Е.Б. Дайбова²

¹Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Сибирский институт сельского хозяйства и торфа РАН, г. Томск, Россия
zakh@catalysis.ru

Исследованы адсорбционные и фотосорбционные свойства частиц аэрозоля из минерала циркона ($ZrSiO_4$) в условиях, близких к условиям тропосферы. Для аэрозоля были определены физико-химические характеристики методами ИК, ультрафиолетовой и рентгеновской спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии и спектроскопии диффузного отражения. Проведен анализ состава адсорбированного слоя, формируемого в условиях тропосферы. В темноте с поверхности микрочастиц циркона десорбируется, в основном, диоксид углерода, как и при освещении поверхности частиц аэрозоля. Изучены кинетические закономерности фотодесорбции CO_2 с поверхности частиц аэрозоля и взаимодействия фреона 22 (CHF_2Cl) с их поверхностью в темноте и под действием света. Определены квантовые выходы и спектральные зависимости квантовых вы-

ходов процессов фотодесорбции и фотоадсорбции. Из спектральных зависимостей эффективного квантового выхода следует, что фотохимическая активность осажденного аэрозоля из минерала циркона наблюдается под действием солнечного тропосферного излучения ($\lambda > 300$ нм).

СКОРОСТИ СЕДИМЕНТАЦИИ ПЫЛЬЦЕВЫХ КЛАСТЕРОВ И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН АНЕМОФИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ ЦСБС СО РАН

В.В. Головко¹, К.А. Хлебус², Т.И. Киселева³

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

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Пыльца анемофильных растений – массовая компонента грубодисперсной фракции атмосферного аэрозоля, играющая ключевую роль в семенном размножении, вызывающая сезонные аллергические заболевания, влияющая на перенос химических элементов в биоценозах. Перенос пыльцевых частиц ветром – физический процесс, зависящий их скорости седиментации и турбулентности атмосферы.

Данная работа является продолжением цикла исследований, посвященного определению аэродинамических характеристик пыльцевых частиц нескольких анемофильных видов растений, представленных в экспозиции ЦСБС СО РАН и произрастающих в его окрестностях. При распылении пыльцы установлена доля кластеров из 2 и большего числа пыльцевых зерен. Определены скорости седиментации как и индивидуальных зерен пыльцы, как и их кластеров, состоящих из двух или большего количества зерен. Для каждого из изучавшихся видов растений установлена зависимость скорости седиментации пыльцевой частицы от количества входящих в ее состав зерен.

ПЫЛЬЦЕВЫЕ ЧАСТИЦЫ АНЕМОФИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ПОСТУПАЮЩИЕ В АТМОСФЕРУ – КЛАСТЕРНЫЙ СОСТАВ

В.В. Головко¹, Т.И. Киселева², Г.А. Зуева²

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

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

Перенос пыльцевых частиц в атмосфере – физический процесс, дальность которого, помимо скорости ветра и турбулентности атмосферы определяется скоростью седиментации пыльцевых частиц. Скорость оседания пыльцевой частицы зависит от числа индивидуальных зерен пыльцы, входящих в состав пыльцевого кластера.

В данной работе исследовано поступление пыльцевых частиц в атмосферу в период цветения. Оценена доля кластеров из двух или большего числа пыльцевых зерен от суммарного числа пыльцевых частиц, поступающих в атмосферу. Показано, что не смотря на наличие у анемофильных растений морфологических особенностей, препятствующих образованию кластеров, подобные кластеры в значительных количествах образовывались во всех сериях опытов. При этом доля пыльцевых зерен в их составе могла превышать 50% от общего числа пыльцевых зерен, поступивших в атмосферу.

РОЛЬ ФОТОСИНТЕЗА И ДЫХАНИЯ СОСНЫ В ФОРМИРОВАНИИ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Е.А. Дюкарев^{1,2}, С.А. Кураков¹, Е.Д. Лапшина², Н.В. Филиппова², И.В. Филиппов²,
Е.А. Заров², А.А. Дмитриченко²

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

²Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия
dekot@mail.ru

Представлены результаты полевых измерений потоков углекислого газа на грядово-мочажинном комплексе (ГМК) олиготрофного болота Мухрино (Ханты-Мансийск) полученные в 2019 г. Автоматические прозрачные измерительные камеры были установлены на мочажине и гряде ГМК, а также ветвях сосны болотной

(*Pinus sylvestris*), то позволило оценить фотосинтетическую ассимиляцию углекислого газа зелеными растениями, экосистемное дыхание и чистый экосистемный обмен в течение теплого периода. Оценка чистого экосистемного обмена для гряд и мочажин показала, что суммарная скорость поглощения CO₂ превышает совокупное выделение CO₂ на ГМК. Средний за два года исследований чистый экосистемный обмен на мочажине был в 1,7 раза выше (87,7 гС · м⁻²), чем на гряде (50,2 гС · м⁻²). Показатели суммарной первичной продукции и экосистемного дыхания на гряде были выше, чем на мочажине. Интенсивность потоков CO₂ на ветках сосны в течение лета варьировала от +2 до -12 мг CO₂ ч⁻¹ · г (а.с.в.)⁻¹ (в расчете на грамм абсолютно сухого вещества), что в пересчете на единицу площади составляет около -74 гС · м⁻² за сезон. Поглощение углекислого газа хвоей сосен на гряде ГМК сопоставимо с поглощением моховым и кустарничковым покровом. Таким образом, учет даже сильно разреженного древесного яруса сосны болотной необходим при оценке углеродного баланса болотных экосистем Западной Сибири.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 18-44-860017, 18-05-00306).

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА ПЛОТНИКОВСКОМ УЧАСТКЕ БАКЧАРСКОГО БОЛОТА (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д.К. Давыдов¹, А.В. Дьячкова¹, О.А. Краснов¹, Д.В. Симоненков¹, 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

Понимание причин изменения климата Земли и планирование необходимых мероприятий по предотвращению катастрофических последствий требуют долгосрочных и высокоточных измерений выбросов – стоков парниковых газов и их эволюции. Стандартизированные измерения и расчет газовых потоков увеличивают доступность и удобство использования накопленных данных для моделирования происходящих процессов. Автоматизированные камерные системы, работающие в закрытом динамическом режиме, 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) для характерных растительных ассоциаций на полевом стационаре «Plotnikovo» Института почвоведения и агрохимии (ИПА СО РАН, Новосибирск) на Бакчарском болоте в Томской области в теплые периоды 2013–2020 гг. Круглосуточные наблюдения за газовыми потоками из почвы проводились автоматизированным камерным методом с помощью измерительных комплексов FluxNIES на участке осоково-сфагнуовой топи и в грядово-мочажинном болотном ландшафте.

Углеродный баланс болотных экосистем сильно зависит от увлажнения торфяной залежи: падение уровня вод вызывает освобождение CO₂, тогда как увеличение обводнения определяет величину его изъятия из атмосферы. Выпадение осадков и испарение имеют прямую связь с прогревом поверхности болота, что в свою очередь влияет на эффективность процессов метаногенеза в торфяной залежи.

На основе полученных данных анализируется межгодовая и пространственная изменчивость поглощения атмосферного углерода и его эмиссии в изучаемой болотной экосистеме. Рассматривается влияния погодных условий, приведших к снижению стока CO₂ в сезоне 2016 г. и падению эмиссии CH₄ в 2018 г. Определяется доля участия озер в газообмене на поверхности болот.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-45-700020 р_а. Обеспечение полевых работ осуществлялось при участии Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

1. Pavelka M. et al. Standardisation 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.

ПОГЛОЩЕНИЕ ВОДЯНЫМ ПАРОМ ЛАЗЕРНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ 266 НМ С ЛИНЕЙНОЙ И КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Н. Куряк¹, Б.А. Тихомиров¹, Г.Ю. Голубятников²

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

²Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия

Сообщается об увеличении на 50% амплитуды оптико-акустического сигнала, генерируемого при поглощении водяным паром лазерных импульсов 266 нм с круговой поляризацией излучения, относительно сигнала для излучения с линейной поляризацией. Показано, что в области изменения пиковой интенсивности излучения $I_0 = (10^{-3} \div 1,4)$ ГВт/см² вклад в ОА-сигнал вносят линейное и нелинейное поглощение, которые связываются с одно- и двухфотонной диссоциацией молекул H₂O. Однофотонная диссоциация происходит из электронно-возбужденного состояния A(¹B₁) молекул с образованием продуктов диссоциации Н+ОН(X²Π), двухфотонная диссоциация – через состояние В(¹A₁) с образованием продуктов диссоциации Н+ОН(A²Σ⁺) и Н+ОН(X²Π) [1].

1. Окабе Х. Фотохимия малых молекул / Пер. с англ. М.: Мир, 1981. 504 с.

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ДВУОКСИ АЗОТА И СУБМИКРОННОГО АЭРОЗОЛЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НА ЗВЕНИГОРОДСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ им. А.М. ОБУХОВА РАН

А.Н. Груздев, А.С. Елохов, А.А. Исаков

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

a.n.gruzdev@mail.ru

Измерения массовой концентрации субмикронного аэрозоля и содержания двуокси азота (NO₂) в приземном слое атмосферы на Звенигородская научная станция ИФА им. А.М. Обухова РАН насчитывают 30 лет. Концентрация аэрозоля определяется по измерениям коэффициента направленного светорассеяния, а содержание NO₂ измеряется по спектрам рассеянного из зенита солнечному излучению.

Приземное содержание NO₂ испытывает значительные суточные, межсуточные и годовые вариации. Высокие значения содержания вызваны переносом со стороны Москвы. Годовой ход имеет зимний максимум, вызванный более частыми и сильными эпизодами загрязнения. Долговременные изменения NO₂ характеризуются увеличением содержания после 2004 г. Увеличение составило в среднем 50% утром и 40% вечером.

Получены оценки трендов концентрации аэрозоля с учетом изменения направления атмосферного переноса. Рассмотрены периоды 1991–2002, 2003–2012 и 2013–2019 гг. с разным характером изменчивости аэрозоля. Выявлено уменьшение концентрации аэрозоля в течение всех периодов. Годовые, статистически значимые оценки линейного по логарифму концентрации тренда для них составили –0,6; –0,5 и –3% в год, соответственно. Тренды в 1991–2012 гг. обусловлены зимне-весенними сезонами. Сильный отрицательный тренд в 2013–2019 гг. обусловлен летним сезоном. Его вероятной причиной послужило уменьшение эмиссии летучих органических соединений в результате значительного летнего похолодания в регионе и усыхания и еловых лесов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-05-00274).

30 ЛЕТ ЗОНДИРОВАНИЯ NO₂ НА ЗВЕНИГОРОДСКОЙ НАУЧНОЙ СТАНЦИИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ им. А.М. ОБУХОВА РАН

А.Н. Груздев, А.С. Елохов

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

a.n.gruzdev@mail.ru

На Звенигородской научной станции ИФА им. А.М. Обухова РАН в западном Подмосковье с 1990 г. выполняются регулярные спектрометрические измерения вертикального распределения и общего содержания NO₂. Станция входит в международную Сеть по обнаружению изменений состава атмосферы (NDACC). Измерения

выполняются в утренние и вечерние сумерки по рассеянному из зенита солнечному излучению. Определяется вертикальный профиль и общее содержание NO_2 . Содержание NO_2 в стратосфере испытывает сильный суточный ход с утренним (после восхода Солнца) минимумом и ночным (сразу после захода Солнца) максимумом, сильный годовой ход с зимним минимумом и летним максимумом, межсуточные, внутрисезонные, межгодовые и долговременные изменения. Получены сезонно-зависимые оценки воздействия на эволюцию стратосферного NO_2 11-летнего солнечного цикла, вулканического стратосферного аэрозоля, квазидвухлетней цикличности, Североатлантического и Эль-Ниньо – Южного колебаний. Долговременные изменения характеризуются уменьшением содержания NO_2 . Годовая оценка линейного тренда составляет -3% за 10 лет. Тренд зависит от сезона. Наиболее сильное уменьшение содержания NO_2 , до $-4 \div -5\%$ за 10 лет отмечено весной и осенью.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-05-00274).

ОЦЕНКА ПОТОКОВ НЕРАСТВОРИМЫХ ЧАСТИЦ ИЗ АТМОСФЕРЫ В ПРИМОРСКОМ И ОНЕЖСКОМ РАЙОНАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2018–2019 гг.

Д.П. Стародымова, Е.И. Котова, А.Е. Яковлев

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
d.smokie@gmail.com*

Состав снежного покрова характеризует поступления веществ из атмосферы в зимний период. В течение четырех месяцев зимнего сезона 2018–2019 гг. на трех полигонах региональной сети Росгидромета проводился отбор снега с помощью специальных сборников атмосферных осадков двух типов – закрытого, которые открывались в момент снегопада, и открытого, которые стояли открытыми всегда. Ежемесячно материал, собранный на станциях, транспортировали в лабораторию, где собранный снег растапливали и фильтровали через ядерные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Собранные таким образом нерастворимое вещество анализировали на содержание микроэлементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Это позволило оценить потоки элементов (в том числе тяжелых металлов) из атмосферы в разных районах, а также оценить долю сухого осаждения из атмосферы в общем балансе выпадений.

Авторы благодарят В.Б. Коробова и В.П. Шевченко. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-05-00938).

РАСSEAЯННОЕ ОСАДОЧНОЕ ВЕЩЕСТВО В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В 2016–2020 гг.

**В.П. Шевченко¹, С.К. Белоруков¹, А.Г. Боев¹, А.В. Булохов¹, В.Б. Коробов¹, А.С. Лохов¹,
Д.П. Стародымова¹, А.Е. Яковлев¹, А.В. Чупаков²**

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

*²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН,
г. Архангельск, Россия
vshevch@ocean.ru, artem.chupakov@gmail.com*

Обобщены результаты исследования рассеянного осадочного вещества (нерастворимых частиц) в снежном покрове водосборного бассейна Двинского залива Белого моря в 2016–2020 гг. Снег отбирали в конце зимнего периода в шурфах до замерзшей почвы или льда на озерах и реках. В лаборатории снег растапливали и фильтровали через предварительно взвешенные лавсановые ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм. Состав частиц был изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SEM (Tescan) с микрозондовой приставкой INCA Energy (Oxford Instruments). После разложения аликвоты фильтров смесью сильных кислот элементный состав нерастворимых частиц определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7500a. В фоновых районах концентрация нерастворимых частиц в снеге в основном была < 5 мг/л. Значительно более высокие концентрации частиц были зафиксированы

ны в г. Архангельске и вблизи от шоссе Архангельск–Вологда. Рассеянное осадочное вещество снега состоит в фоновых районах в основном из биогенных и литогенных частиц, в Архангельске преобладают сажа и пепловые частицы. Расчет коэффициентов обогащения химическими элементами относительно среднего состава земной коры позволил выявить три элемента, для которых дополнительный (антропогенный) источник вещества является преобладающим – Cd, Pb, Bi.

Исследования в 2019–2020 гг. выполняли при поддержке РФФИ (грант № 19-05-00938-а).

ИЗМЕРЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА БАКЧАРСКОМ БОЛОТЕ

С.В. Смирнов¹, А.В. Фофонов², Д.К. Давыдов²

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

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

smirnov@imces.ru

Приходящее солнечное излучение является главным источником энергии для термодинамических, фотохимически, климато- и природообразующих процессов. Поэтому измерения энергетической освещенности в различных спектральных диапазонах и на территориях с различным альбедо подстилающей поверхности, например, на труднодоступной и малоисследованной территории Бакчарского болота, как части Большого Васюганского болотного комплекса, представляют большой интерес.

В настоящем докладе представляются результаты измерений приходящей солнечной радиации, в частности фотосинтетически активного излучения и суммарной радиации, выполненных на территории Бакчарского болота вблизи пос. Плотниково и д. Польшанка в течение 2012–2019 гг. с использованием нескольких радиометров разного спектрального разрешения.

В работе обсуждаются полученные результаты измерений, включая внутри- и межсуточную изменчивость и межгодовые различия характеристик приходящего солнечного излучения.

Работа была выполнена в рамках госбюджетной темы № АААА-А17-117013050031-8.

СОВМЕСТНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ФОНОВЫМ РАЙОНОМ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.Ю. Аршинов¹, Б.Д. Белан¹, С.Б. Белан¹, Н.Г. Воронцов², Д.К. Давыдов¹,
А.В. Дьячкова¹, Г.А. Ивлев¹, А.В. Козлов¹, А.С. Козлов³, С.Б. Малышкин³,
Г.С. Певнева², Д.В. Симоненков¹, Г.Н. Толмачев¹, А.В. Фофонов¹

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

²Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия

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

simon@iao.ru

Приводится совместный анализ данных химического состава аэрозоля на ионно-элементный и углеводородный (*n*-алканы) состав над Караканским бором, полученных при самолетном зондировании с декабря 2011 г. по март 2020 г. Анализ корреляционной матрицы за первую половину указанного периода показал наибольшую связь с *n*-алканами трех металлов – меди, кобальта и алюминия, особенно первых двух с 5–6 углеводородными гомологами сразу. Натрий, калий, кальций и барий коррелировали с 1–2 *n*-алканами. Почвенные алюминий и кремний, ряд других микроэлементов проявляли связи с 1–3 *n*-алканами. Нередко соседние гомологи коррелировали с одним металлом, что может указывать на возможную их трансформацию под каталитическим влиянием этого металла.

Работа выполняется при поддержке гранта РФФИ № 18-45-700020; Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

ФТИР-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ГОРОДА МОСКВЫ

О.Б. Поповичева, А.С. Иванов

*НИИ Ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ, г. Москва, Россия
olga.popovicheva@gmail.com*

Приносит ли весенний сезон дополнительное загрязнение городской среды мегаполиса остается под вопросом. Отбор проб производился на городской фоновой станции мегаполиса Москвы весной 2017 г., в период интенсивного сжигания биомасс и значительного воздействия адвекции воздушных масс из окрестных регионов. Параметризация коэффициента поглощения Ангстрема (AAE) идентифицирует периоды, в которых преобладает сжигание ископаемого топлива (FF) и на влияет сжигание биомасс (BB). Состав аэрозолей в классах органических, ионных соединений и пыли определяется методом диффузионной инфракрасной Фурье-спектроскопии (ФТИР). Идентифицируются функциональные маркеры выбросов городского транспорта и региональных эмиссии горения биомасс. Разработка оценки вкладов источников проводится с помощью комплексного подхода обработки данных ФТИР анализа ежедневных проб аэрозолей и статистического анализа методом главных компонентов (МГК). МГК спектральных данных дифференцирует состав аэрозолей, определяемых спектральной характеристикой AAE. В составе аэрозольного загрязнения выявляются функциональные факторы воздействия эмиссий транспорта, сжигания биомасс, биогенные, пылевые и вторичные аэрозольные источники. Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 19-773004).

АНАЛИЗ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА СТАНЦИИ «ФОНОВАЯ» В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А. Демакова¹, О. Гармаш¹, Е. Ежова¹, М. Аршинов², Д. Давыдов², Б. Белан², М. Кулмала¹

*¹Institute for Atmospheric and Earth System Research (INAR), University of Helsinki, Helsinki,
P.O.Box 64, FIN-00014, Finland*

*²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
anastasiia.demakova@helsinki.fi*

Измерения атмосферного аэрозоля в Западной Сибири проводились и ранее, но при этом использовалось лимитированное количество приборов. Однако эти измерения, по большей части проведенные на станции «Фоновая» (60 км от Томска), позволили судить о том, что такое явление, как нуклеационные всплески в Западной Сибири случаются реже, чем в других районах бореальных лесов [1]. Для выяснения причины на станцию «Фоновая» был доставлен комплекс оборудования для измерения более широкого спектра характеристик атмосферного аэрозоля [2].

В измерениях микрофизических характеристик аэрозольных частиц были задействованы следующие приборы: спектрометр нейтральных кластеров и аэроионов NAIS (Neutral cluster Air Ion Spectrometer), спектрометр наночастиц A11 CNC (A11 nano Condensation Nucleus Counter), дифференциальный спектрометр подвижности частиц DMPS (Differential Mobility Particle Sizer), модернизированный диффузионный спектрометр аэрозолей (ДСА) и оптический счетчик частиц Grimm Model 1.108. Это позволило произвести более точную классификацию нуклеационных всплесков и уточнить полученную ранее статистику их повторяемости, включая скорость образования (J), скорость роста (GR) и конденсационный сток (CS), а также провести сравнение данных, полученных с использованием ДСА, NAIS и DMPS. При помощи NAIS измерено также распределение подвижности ионов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50024).

1. Dal Maso M. et al. // In Nucleation and atmospheric aerosols. 2007. P. 840–844.

2. Kulmala M. et al. // Nature Protocols. 2012. V. 7, N 9.

СОСТАВ СИЛЬНО ОКИСЛЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ НА СТАНЦИИ «ФОНОВАЯ»

О.В. Гармаш¹, Е.В. Ежова¹, А. Демакова¹, М.Ю. Аршинов², Д.К. Давыдов²,
F. Bianchi¹, T. Petäjä¹, Б.Д. Белан², М. Kulmala¹

¹*Institute for Atmospheric and Earth System Research, University of Helsinki, P.O.Box 64, FI-00014, Finland*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*
olga.garmash@helsinki.fi

Сильно окисленные органические молекулы (англ. highly oxygenated organic molecules, HOM) являются прекурсорами вторичного аэрозоля, образующегося в атмосфере пояса бореальных лесов [1]. Эти соединения формируются посредством самоокисления биогенных (изопреноидов) и антропогенных (ароматических) летучих органических соединений (ЛОС). Было показано, что HOM, полученные путем окисления монотерпенов, являются особенно низклетучими. Таким образом они вносят непосредственный вклад в атмосферную нуклеацию, а также участвуют в процессе роста мелкодисперсного аэрозоля [2, 3].

На станции мониторинга атмосферного состава обсерватории Фоновой нами были проведены измерения с использованием времяпролетного масс-спектрометра $\text{NO}_3^- \text{--CI--APi--TOF}$. Часть измерений была проведена без химической ионизации. В этом режиме было возможно определить состав атмосферных анионов, в частности, HOM и молекулярных кластеров массой до 1400 а.е.м.

В докладе будут обсуждены возможные пути формирования сильно окисленных органических молекул в атмосфере, а также представлены первые результаты подобных исследований, проведенных на станции обсерватории Фоновой. Результаты измерений необходимы для определения состава HOM и предшественников вторичного аэрозоля в сибирском регионе, дающих вклад в рост аэрозольных частиц до размеров, имеющих климатическое значение.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50024).

1. Bianchi et al. // Chem Reviews. 2019. V. 38, N 15. P. 3417–3422.
2. Ehn et al. // Nature. 2014. V. 506. P. 476–479.
3. Rose et al. // Science Advances. 2018. V. 4, N 4. eaar5218.

ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ МИКРО- И НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИЕЙ

А.М. Игнатова¹, В.В. Фотин², Д.А. Кузнецов¹

¹*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия*

²*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия*
iampstu@gmail.com

При оценке параметров частиц сварочных аэрозолей (СА) проблематично установить их фракционный состав и характеристики отдельных частиц, так как они склонны к агломерации после сбора. Для разделения образующихся агломератов авторами предлагается использовать метод поверхностной модификации частиц. Для этого частицы сварочного аэрозоля суспензируют в растворе лауриновой кислоты концентрацией 0,001 моль/л на основе этанола (ч.д.а). Полученную суспензию подвергают ультразвуковому диспергированию (гомогенизатор Sonopuls Hd 3200 «Bandelin» (Германия) при комнатной температуре в течение 15 мин в режиме непрерывной пульсации на 65% мощности), а затем выпариванию на подложке из электропроводного материала, в исследовании использовался углеродный скотч. В результате на поверхности подложки остаются микро- и наноразмерные частицы, покрытые пленкой лауриновой кислоты, толщина которой не влияет на оценку морфометрических параметров, т.е. не искажаются параметры рельефа и формы, однако, создаются четкие границы частиц, которые идентифицируются при исследовании растровой электронной микроскопией. Методика применялась авторами при исследовании параметров сварочных аэрозолей, образованных при электродуговой сварке углеродистой стали электродами различных марок. Таким образом, установлено, что метод поверхностной модификации микро- и наноразмерных частиц сварочных аэрозолей суспензированием в растворе лауриновой кислоты на основе этанола позволяет устранить влияние склонности частиц к агломерации после сбора на достоверность оценки фракционного состава и морфометрических параметров отдельных частиц.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АТМОСФЕРЫ МЕТОДОМ АНАЛИЗА СНЕЖНЫХ ПОКРОВОВ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИЕЙ

А.М. Игнатова¹, Л.И. Торопов², И.В. Фотина²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия
iampstu@gmail.com

Достоверность, точность и полнота сведений о техногенных загрязнениях атмосферы является неотъемлемым условием обеспечения снижения популяционного и индивидуального риска здоровью населения от антропогенного воздействия. Традиционные методы оценки состава воздуха, используемые в рутинной практике, а именно, индикаторные трубки, не обладают достаточной чувствительностью. Актуальной задачей является выявление потенциально опасных факторов окружающей среды, через исследование показательных индикаторов ее состояния. Таким индикатором является снежный покров. Наиболее опасными и актуальными для идентификации в снежном покрове являются тяжелые металлы (элементы с относительной молекулярной массой больше 40). Для анализа снежного покрова авторы предлагают определять рассеянные элементы в нерастворимом осадке экспрессным полуколичественным спектральным методом атомно-эмиссионной спектроскопии, позволяющим определять концентрации большинства микроэлементов вне зависимости от форм их нахождения. Пылевую фазу анализируют после озоления осадка вместе с фильтром. Испарение порошковой пробы и возбуждение атомов осуществляют электрической дугой переменного тока. Идентификацию элементов проводят по таблицам и атласам спектральных линий, а оценка концентрации – по интенсивности аналитических линий. Методика опробована при анализе годового снежного покрова г. Перми, по результатам, проведенного скринингового исследования установлено, что преимущественно в окружающую среду города поступают Al, P, Fe, Ba. В минимальном количестве – Cd, As и In.

НАКОПЛЕНИЕ ПАУ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ БАЙКАЛЬСКОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2017–2019 гг.

И.И. Маринайте, О.Г. Нецветаева, В.В. Носова, Е.В. Моложникова

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

Для оценки современного экологического состояния Южного Прибайкалья проанализированы данные 2017–2019 гг. по накоплению ПАУ и нефтепродуктов в снежном покрове Байкальского природного биосферного заповедника, расположенного на юго-восточном побережье Байкала на пути основного переноса экотоксикантов от промышленных центров.

Установлено, что накопление нефтепродуктов (1,8–22 мг/м²) и ПАУ (3–215 мкг/м²) на территории заповедника было в несколько раз ниже, чем в городах Иркутской обл. (34–400 мг/м² и 260–19000 мкг/м² соответственно) и соизмеримо с накоплением на юго-западном побережье Байкала в районе пос. Листвянка (1,4–34 мг/м² и 16–260 мкг/м² соответственно).

Накопление нефтепродуктов в снеге 2018 г. (6–20; среднее 12 мг/м²) фиксировались на более высоком уровне по сравнению с 2017 г. (3,3–22; среднее 8,7 мг/м²) и 2019 г. (1,8–11; среднее 7,4 мг/м²). Максимальные значения нефтепродуктов обнаружены в верхнем течении р. Переемная.

Содержание ПАУ в снежном покрове было выше в 2019 г. (20–215; среднее 108 мкг/м²), по сравнению с 2017 г. (3–43; среднее 14 мкг/м²) и 2018 г. (18–120; среднее 52 мкг/м²). Увеличение концентраций ПАУ зафиксировано в бассейне р. Выдриная.

Большое количество осадков (до 1200 мм в год) на наветренных склонах хребта Хамар-Дабан и преобладающий перенос воздушных масс от промышленных центров, подтвержденный расчетом обратных траекторий по модели HYSPLIT, способствуют более высокому накоплению экотоксикантов в районе Байкальского природного заповедника.

Работа выполнена в рамках госзадания № 0345-2019-0008 (№ АААА-А16-1161 22110065-4) в ЦКП «Ультромикроанализ» Лимнологического Института СО РАН.

ESTIMATION OF BACKGROUND IONIZING RADIATION AND EVALUATION OF LIFE TIME CANCER RISK IN PARK AREAS OF TOMSK

M.C. Zulu¹, G.A. Yakovlev², E. Yeboah¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Tomsk State University, Tomsk, Russia

chamzgalary@gmail.com

The gamma-background of the urban atmosphere is formed to a greater extent by the radiation of radionuclides contained in the soil, building materials, and the atmosphere. The influence of various objects of the Technosphere has practically not been studied by anyone. It is not known which objects will increase the total urban gamma background, and which ones will decrease. The foregoing determined the main goal of this work – the study of the influence of Technosphere objects on the gamma background radiation of the urban environment. The study was carried out in the city of Tomsk, Russia. Background radiation was studied using highly sensitive intelligent gamma detectors BDKG-03. It was determined that, within a radius of 1m from certain Technosphere objects the absorbed dose was 1.5 to 4.4 higher than the UNSCEAR recommended safe limit. The highest recorded dose for a person standing 50 cm away from the technosphere objects was 204 nGy/h which is 2.4 times higher than the recommended safe limit. The range of absorbed dose was 84 nGy/h to 374 nGy/h. The highest calculated range of AEDE was 0.17 to 0.57 mSv/yr and ELCR was $0.59 \cdot 10^{-3}$ to $2.01 \cdot 10^{-3}$.

ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ НАСЫЩЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В АТМОСФЕРНОМ АЭРОЗОЛЕ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ 2019–2020 гг.

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

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

Исследования состава органической компоненты атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири проводятся коллективом авторов на протяжении последнего десятилетия [1]. В весенний, летний и зимний периоды 2019–2020 гг. пробы аэрозоля отбирались на тефлоновые аналитические мембраны Grimm 1.113A в тропосферном слое 3000–7000 м. Анализ органической части аэрозоля проводился на хромато-масс-спектрометре Agilent 6890N. Для достоверности идентификации углеводородов использовались библиотечные базы данных масс-спектров NIST. Исследования предыдущего года позволили расширить спектр идентифицированных насыщенных углеводородов циклического строения. В изученных пробах аэрозоля помимо алкилциклогексанов состава C₁₆–C₂₄, пентациклических алканов (C₂₉-, C₃₀-гопанов) впервые идентифицированы гомологи пентацикланов состава C₂₇, C₃₁–C₃₃. Кроме пентациклических алканов в этих пробах идентифицирован гомологический ряд трицикланов состава C₂₁–C₂₆, а также тетрациклические алканы, представленные гомологическими сериями изомеров состава C₂₇–C₂₉.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-45-700020).

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

РАСШИРЕННЫЙ АНАЛИЗ СООБЩЕСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЕЙШИХ МЕТОДОВ МЕТАГЕНОМИКИ В АЭРОЗОЛЕ АТМОСФЕРЫ НА ЮГЕ ЗАПАДНОСИБИРСКОГО РЕГИОНА

Е.М. Астахова¹, А.С. Сафатов¹, О.В. Охлопкова¹, Т.В. Трегубчак¹, А.Н. Швалов¹,
М.Ю. Карташов¹, Б.Д. Белан², Д.В. Симоненков²

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

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

В январе и марте 2020 г. отобрано 8 проб воздуха в районе Караканского Бора, на высотах 500–1000, 1500–2000, 3000–4000 и 5500–7000 м. Из образцов выделены суммарные геномные фрагменты, определены характерные нуклеотидные последовательности методом секвенирования нового поколения. Идентифицированы и охарактеризованы биогенные компоненты аэрозоля – пыльца, грибы, бактерии, вирусы и др. Определен состав сообществ в собранных пробах воздуха.

В работе представлены результаты мониторинга атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири с использованием современного оборудования для расшифровки структуры нуклеиновых кислот с дальнейшим анализом и оценкой разнообразия микроорганизмов, содержащихся в воздухе.

Идентифицировано 247 бактериальных вида. Особое внимание обращали на условно-патогенные и патогенные бактериальные сообщества. Большинство бактериальных патогенов обладают множественной лекарственной устойчивостью. Как потенциально опасные, отмечено 30 видов бактерий. Из них 14 видов относятся к IV группе патогенности, 10 видов – к III группе, 2 вида – ко II группе, не присвоена группа для 4 видов бактерий изучаемых в настоящее время, вызывающих оппортунистические инфекции и показывающие устойчивость ко многим видам антибиотиков.

На основе новейших методов, можно показать соотношение содержащихся геномов микроорганизмов с указанием доминирующих видов эукариот, растений, бактерий и др. с учетом местоположения отбора, метеорологических условий и высотных характеристик.

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

NUMERICAL INVESTIGATION OF RADON FLUX FROM SOIL INTO ATMOSPHERE THROUGH SNOW COVER

A.B. Addo¹, E.V. Romanenko¹, G.A. Yakovlev², V.S. Yakovleva¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

²Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation
adamsbenjaminaddo@gmail.com

The expanse of soil radon is understood to be dependent on factors like the time of year, current state of the climate, changes to the climate, the area's topography and other weather conditions. As a result of these variations, a study of soil radon in snow-covered ground during winter in the Tomsk Region will help reveal the effect of snow on radon exhalation from the ground to the surrounding atmosphere.

The purpose of this study was numerical simulation of radon transport from soil into atmosphere through snow cover. Simulation was performed for different physical characteristics corresponding to winter season time: density; porosity; gas permeability. Results of the investigation discussed in the work in detail.

СВЯЗЬ ПИРОГЕННОЙ ЭМИССИИ NO₂ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ С АТМОСФЕРНЫМ БЛОКИРОВАНИЕМ

И.И. Мохов^{1,2}, С.А. Ситнов¹, М.Н. Цидилина³, О.С. Воронова³

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

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

³Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия
sitnov@ifaran.ru

Совместный анализ площади лесных пожаров с использованием данных спутниковых измерений спектро-радиометром MODIS и данных NCEP/NCAR реанализа свидетельствует о наличии положительной связи величин ежегодной эмиссии NO₂ при лесных пожарах на территории России с количеством дней, характеризующихся атмосферным блокированием. Согласно полученным оценкам чувствительность пирогенной эмиссии NO₂ к изменению количества блоко-дней на территории России около 540 т/блоко-день. Для периода период 2001–2019 гг. выявлен рост плотности эмиссии NO₂ при природных пожарах на территории России 43 мг·м⁻²/год. При этом отмечено уменьшение соотношения ежегодных объемов пирогенной эмиссии NO₂ и CO.

Работа выполнена при поддержке проекта «Разработка фундаментальных основ и методов выявления аномальных процессов и явлений в океане, атмосфере и на суше, в том числе в арктическом регионе, по данным дистанционного зондирования Земли и моделирования».

ИССЛЕДОВАНИЕ СООТНОШЕНИЯ БИОГЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ АТМОСФЕРНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО АЭРОЗОЛЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧИТЕЛЬНЫХ МЕР В СВЯЗИ С ПАНДЕМИЕЙ КОРОНАВИРУСА

С.Н. Дубцов, Г.Г. Дульцева, М.Е. Плохотниченко

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

Исследовано влияние ограничительных мер в связи с пандемией коронавируса на состав малых газовых составляющих и органического аэрозоля в атмосфере новосибирского Академгородка. Изучено содержание альдегидов – формальдегида, ацетальдегида, бензальдегида, акролеина и замещенных ароматических альдегидов, а также соответствующих карбоновых кислот и соединений перекисной природы до и после введения ограничений, в период до начала вегетационного периода, т.е. при минимальном поступлении биогенных веществ в атмосферу. По величине отношения атмосферных концентраций формальдегида и ацетальдегида оценены изменения относительных вкладов антропогенных и биогенных источников. Выявлены различия в суточном ходе и составе гидроперекисных соединений при ослаблении мощности антропогенных источников. Показана роль гидроперекисей в инициировании перехода газ-частица. Параллельно были проведены измерения концентрации аэрозольных частиц нанометровых размеров и изучены изменения в их химическом составе. Для объяснения наблюдаемых изменений в составе органического аэрозоля проведено кинетическое моделирование стадий образования конденсирующихся продуктов. Резкое уменьшение мощности антропогенных источников позволило выявить и охарактеризовать вклад биогенной составляющей в образование атмосферного аэрозоля, а также описать механизм этого процесса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-43-540009 p_a).

ПЫЛЬЦЕВЫЕ ЗЕРНА В ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ В ПРЕДГОРЬЯХ АЛТАЯ

Н.А. Курятникова¹, Н.С. Малыгина²

¹Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия

²Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия
ryanchinnatalia@gmail.com

Пыльцевые зерна на подстилающую поверхность поступают из биосферы как в процессе сухого, так и мокрого осаждения, при этом, твердые атмосферные осадки (в виде снега) в 3–4 раза эффективнее вымывают атмосферные аэрозоли (в том числе пыльцевые зерна), по сравнению жидкими осадками [1]. Исследований, посвященных анализу атмосферных осадков на наличие пыльцевых зерен, особенно выпадающих в твердом виде не так много [2, 3]. В настоящей работе представлены результаты микроскопического анализа 31 пробы твердых атмосферных осадков (снега), отобранных в предгорьях Алтая в течение холодного периода 2019–2020 гг. Проведенный микроскопический анализ (Nikon Eclipse Ni-U, увеличение в 400 раз) позволил идентифицировать пыльцевые зерна древесных (*Betula sp.*, *Pinus sp.*, *Tilia sp.*) и травянистых (*Artemisia sp.*, сем. *Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Fabaceae*) таксонов. Для определения районов, с территорий которых поступали пыльцевые зерна, идентифицированные в атмосферных осадках, был реализован алгоритм, включающий: анализ частотных обратных траекторий движения воздушных масс (HYSPLIT) для высот пограничного слоя атмосферы (ERA5) продолжительностью 120 ч; оценку синоптических ситуаций по данным (NCEP/NCAR, ERA5); и анализ карт распространения снежного покрова и идентифицированных таксонов. Так основными районами, с территорий которых с атмосферными осадками поступали пыльцевые зерна являются: Туранская равнина, равнины Внутреннего Казахстана и горы Алтая, которые в момент формирования воздушных масс, обусловивших выпадение атмосферных осадков, были свободны от снежного покрова.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90078

1. Семенченко Б.А. Физическая метеорология. М.: Аспект Пресс, 2002. 417 с.
2. Malygina N.S., Zinchenko G.S., Ryabchinskaya N.A., Mitrofanova E.Yu. Sources of Biological Aerosols in Winter Precipitation in the South of Western Siberian // Russian Meteorology and Hydrology. 2018. V. 43, N 4. P. 264–270. DOI: 10.3103/S1068373918040088.
3. Kasprzyk I., Borycka K. Alder pollen concentrations in the air during snowfall // Intern. J. Biometeorol. 2019. V. 63. P. 1–8. DOI: 10.1007/s00484-019-01781-3.

ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ АТМОСФЕРЫ НА ДИНАМИКУ РАДИОАКТИВНЫХ ГАЗОВ

В.А. Момзикова¹, С.В. Смирнов², А.Е. Тельминов², Г.А. Яковлев³, В.С. Яковлева¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
tomz98@mail.ru

Радиоактивные газы, такие, как радон и торон, играют важную роль в вопросах физики атмосферы. Динамика их концентрации влияет на электрические свойства атмосферы, поскольку альфа-излучатели – самые мощные ионизаторы воздуха. Дочерние продукты распада радона и торона с изначальным размером пикометры позволяют существенно расширить диапазон исследуемых аэрозолей атмосферы. Соответственно, они могут помочь в изучении процессов переноса и удаления из атмосферы, в том числе и не радиоактивных аэрозолей. Особое значение бета- и гамма-излучающие продукты распада радона имеют при решении задач по выявлению особенностей очищения атмосферы осадками различного типа и характеристик. Важное значение для решения упомянутых задач имеет градиент объемной активности радона до высоты перемешивания, который определяется, в основном, турбулентностью атмосферы.

В работе детально обсуждаются результаты исследования динамики радона в зависимости от характеристик турбулентности приземной атмосферы.

EFFECT OF THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE NaI(Tl) SCINTILLATION DETECTOR ON DAILY AND SEASONAL VARIATIONS IN THE GAMMA BACKGROUND

E. Yeboah¹, S.V. Smirnov², P.M. Nagorskiy², G.A. Yakovlev³, V.S. Yakovleva¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

²Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of SB RAS, Tomsk, Russian Federation

³Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

eugeniayeboah64@gmail.com

Scintillation detectors based on NaI(Tl) have found wide application in field studies of the environment. Under these operating conditions, the instruments are subject to temperature changes over a wide range. Scintillators and photomultiplier tubes are inherently sensitive to temperature changes. For this reason, temperature stabilization is provided in the detectors. The simplest way to stabilize is to use the temperature dependence coefficients entered in advance in the program for calculating the detector readings. In previous works carried out at TPU, when measuring the background values of the dose rate of gamma radiation, it was revealed that the readings of this detector were incorrect, possibly related to the effect of temperature. In this regard, the aim of the work was to study the readings of the scintillation detector at different temperatures with the subsequent calculation of the correction coefficients for temperature correction. The paper presents the results of the experiment carried out in the climatic chamber TYR 3626 of the control and testing station of the IMCES SB RAS. Analysis of the experimental results showed that measurements of the dose rate using the built-in algorithm give unreliable readings. The temperature correction factor determined from experiments differs significantly from the factory factor.

The authors express their deep gratitude to the staff, namely: the head of the metrology department E.Yu. Chalov, metrology engineer D.A. Shushlyaev and engineer V.A. Korobeinikov, for technical support of the experiment for several days.

ГЕНЕРАЦИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И СТОК АЭРОЗОЛЯ

НОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКО-КАПЕЛЬНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

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

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

Закономерности испарения жидко-капельных аэрозолей имеют практическое значение при проектировании энергетических устройств, оптимизации технологий тушения пожаров и в ряде других приложений. В работе представлены новые экспериментальные методы исследования скорости испарения одиночных капель и кластера капель жидкости.

Установка для исследования испарения одиночной капли [1], включает ультразвуковой левитатор, фиксирующий каплю в акустическом поле резонатора, систему нагрева капли тепловым потоком и систему визуализации процесса. Метод исследования испарения кластера капель основан на изменении размера капель при их прохождении через вертикально расположенный полый цилиндрический нагреватель [2]. Суммарные массы капель, поступивших в нагреватель и в приемную емкость за время проведения измерений, определяют взвешиванием жидкости в мерной и приемной емкостях.

Представлены результаты исследования закономерностей испарения капли при нагреве лучистым и конвективным тепловым потоком и испарения кластера капель при гравитационном осаждении в нагретой газовой среде.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (проект № 15-19-10014).

1. Заявка на патент РФ № 2019131997 с приоритетом от 9.10.2019. Устройство для определения скорости испарения капли, МПК G01N 21/00 / Архипов В.А., Маслов Е.А., Коноваленко А.И., Золоторев Н.Н., Кузнецов В.Т.
2. Заявка на патент РФ № 2019139349 с приоритетом от 2.12.2019. Способ определения скорости испарения группы капель, МПК G01N 21/00 / Архипов В.А., Коноваленко А.И., Басалаев С.А., Золоторев Н.Н., Перфильева К.Г., Антонникова А.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ САЛЬТИРУЮЩИХ АЛЕВРИТОВЫХ И ПЕСЧАНЫХ ЧАСТИЦ НА ОПУСТЫНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Г.И. Горчаков¹, А.В. Карпов¹, В.М. Копейкин¹, С.В. Мирсаитов², Р.А. Гуцин^{1,2},
О.И. Даценко^{1,2}, Д.В. Бунтов¹, Г.А. Курбатов^{1,3}

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

²*МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия*

³*МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, г. Москва, Россия*

gengor@igaran.ru

Обнаружение в ветропесчаном потоке на опустыненной территории алевритовой фракции сальтирующих частиц [1] привело к необходимости детального исследования динамики сальтации алевритовых частиц, поскольку инерционность алевритовых частиц заметно меньше инерционности песчаных частиц. Некоторые особенности динамики алевритовых частиц в нижнем слое сальтации охарактеризованы в [2]. Анализ показал, что в верхнем слое сальтации в отличие от нижнего слоя корреляционная связь концентрации сальтирующих частиц со скоростью ветра становится нелинейной. Проанализировано влияние ветра в приземном слое атмосферы и размера частиц на форму профилей концентрации в ветропесчаном потоке. Изучена трансформация распределения сальтирующих частиц по размерам при изменении высоты слоя сальтации. Оценено влияние турбулентности на интенсивность сальтации. Проанализировано влияние вариаций параметров в турбулентности на вертикальный перенос алевритовых частиц в приземном слое атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00758).

1. Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Копейкин В.М., Мирсаитов С.Ф., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Алевритовая фракция сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Докл. РАН. 2019. Т. 488, № 2. С. 193–196.
2. Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Копейкин В.М., Мирсаитов С.Ф., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Влияние ветра на распределение сальтирующих частиц по размерам // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 10. С. 848–855.

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМА ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ НА ОПУСТЫНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

А.В. Карпов¹, Г.И. Горчаков¹, Г.А. Курбатов², Р.А. Гуцин^{1,3}, О.И. Даценко^{1,3}

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

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, г. Москва, Россия

³МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия

karpov@ifaran.ru

Турбулентность сильно влияет на режим сальтации и, в частности, на интенсивность сальтации, а также на процесс выноса минерального аэрозоля, генерируемого на подстилающей поверхности под воздействием ветропесчаного потока. По данным комплексных измерений на опустыненных территориях в Астраханской обл. в 2010 и 2011 гг. с использованием акустических метеостанций Meteo-2 и Metek (Германия) были рассчитаны значения динамической скорости, турбулентного потока тепла и параметра Монино–Обухова, а также другие параметры турбулентности. Выполнен спектральный анализ турбулентных пульсаций комплексной скорости ветра. Получены оценки влияния временного разрешения на результаты определения параметров турбулентности. Проанализированы статистические связи динамической скорости со скоростью ветра на опустыненной территории. Выполнен статистический анализ вариаций компонент скорости ветра в приземном слое атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00758).

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ САЛТИРУЮЩИХ ЧАСТИЦ

Р.А. Гуцин^{1,2}, Г.И. Горчаков¹, А.В. Карпов¹, О.И. Даценко^{1,2}, Д.В. Бунтов¹

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

²МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия

gushchin@igaran.ru

Проанализированы результаты измерений функции распределения сальтирующих частиц по размерам на трех уровнях в ветропесчаном потоке на опустыненной территории в Астраханской обл. Показано, что в нижнем слое сальтации на высоте 3 см концентрация сальтирующих частиц аппроксимируется линейной функцией скорости ветра в приземном слое атмосферы, что согласуется с аналогичной закономерностью для уровня 6 см [1]. В верхнем слое сальтации на высотах 11 и 15 см корреляционные связи концентраций частиц со скоростью ветра оказались нелинейными. Построены вертикальные профили суммарной концентрации и дифференциальных счетных концентраций сальтирующих алевритовых и песчаных частиц с использованием полученных в [1, 2] результатов. Оценено влияние вариаций скорости ветра на логарифмический градиент концентрации частиц в нижнем и верхнем слоях сальтации. Представлены экспоненциальные аппроксимации вертикальных профилей концентраций сальтирующих частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00758).

1. Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Копейкин В.М., Мирсаитов С.Ф., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Алевритовая фракция сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Докл. РАН. 2019. Т. 488, № 2. С. 193–196.
2. Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Копейкин В.М., Мирсаитов С.Ф., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Влияние ветра на распределение сальтирующих частиц по размерам // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 10. С. 848–855.

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ В НИЖНЕМ И ВЕРХНЕМ СЛОЯХ САЛЬТАЦИИ НА ОПУСТЫНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

О.И. Даценко^{1,2}, Г.И. Горчаков¹, А.В. Карпов¹, Р.А. Гуцин^{1,2}

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

²МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия
datsenko@igaran.ru

По данным измерений дифференциальных счетных концентраций сальтирующих алевритовых и песчаных частиц на опустыненной территории в Астраханской обл. 23.08.2011 г. в период с 12:05 до 15:05 [1, 2] получены функции распределения сальтирующих частиц по размерам. Предложены аппроксимации наблюдаемых функций распределения суммой логонормальных распределений [3] для алевритовой и алеврит-песчаной фракций. С использованием полученных в [2] результатов построены вертикальные профили параметров функции распределения сальтирующих частиц по размерам, включая модальные диаметры алеврит-песчаной и алевритовой фракций; отношение концентраций указанных фракций и параметр, характеризующий ширину распределения частиц алеврит-песчаной фракции по размерам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00758).

1. Бунтов Д.В., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Четырехканальный фотоэлектрический счетчик сальтирующих песчинок // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 6. С. 485–488.
2. Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Копейкин В.М., Мирсаитов С.Ф., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Влияние ветра на распределение сальтирующих частиц по размерам // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 10. С. 848–855.
3. Горчаков Г.И., Бунтов Д.В., Карпов А.В., Копейкин В.М., Мирсаитов С.Ф., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Алевритовая фракция сальтирующих частиц в ветропесчаном потоке на опустыненной территории // Докл. РАН. 2019. Т. 488, № 2. С. 193–196.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СНЕЖНОГО ВОДНОГО ЭКВИВАЛЕНТА В ГОРОДСКИХ И ЗАГОРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

И.В. Беляева¹, А.С. Зелинский², В.С. Яковлева², С.В. Смирнов³, Е.А. Макеев³,
Б.Д. Белан⁴, Г.А. Яковлев⁵

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

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

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

⁵Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
asdf75@bk.ru

Радиационный фон приземной атмосферы формируется, в основном, почвенными радионуклидами. Снежный покров значительно снижает радиационный фон за счет поглощения фотонов и электронов, выходящих из грунта. В то же время, в зимний период изменяется состояние атмосферы, понижается температура, повышается давление, это приводит к увеличению плотности атмосферного воздуха, и снижению длины пробега ионизирующих частиц. Длительный мониторинг радиационного фона, проводимый на экспериментальной площадке ТПУ – ИМКЭС СО РАН, позволил метод оценки влагозапаса по измерениям гамма-фона над снежным покровом.

Метод оценки снежного водного эквивалента важен, прежде всего, для сельского хозяйства.

Но экспериментальная площадка ТПУ – ИМКЭС СО РАН расположена в черте города. Близость городских построек, асфальтовых дорог и городских коммуникаций вносит погрешность в метод определения влагозапаса. Поэтому целью настоящей работы было провести сравнительный анализ результатов определения влагозапаса в городских и загородных условиях.

Для этого в течении зимнего сезона параллельно мониторингу на экспериментальной площадке ТПУ – ИМКЭС СО РАН, измеряли радиационный фон на сельскохозяйственных полях.

Проведено сравнение результатов определения снежного водного эквивалента в городских и загородных условиях.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЯ В РАЙОНЕ г. ТОМСКА ПОСЛЕ ИНТРУЗИЙ ПОЛЯРНОГО ВОЗДУХА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

О.Ю. Антохина, П.Н. Антохин, В.Г. Аршинова, М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, С.Б. Белан, Д.К. Давыдов, Н.В. Дудорова, Г.А. Ивлев, А.В. Козлов, О.В. Праслова, Т.М. Рассказчикова, Д.Е. Савкин, Д.В. Симоненков, Т.К. Складнева, Г.Н. Толмачев, А.В. Фофонов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
pov@iao.ru, Olgayumarchenko@gmail.com*

На основе данных мониторинга счетной концентрации аэрозоля (0,25 мкм – А), проводимого на TOR-станции, расположенной в фоновом районе Академгородка г. Томска, в период 2010–2018 гг. и данных потенциальной температуры на динамической тропопаузе (PV- θ) реанализа ERA-Interim исследовано изменение А в период резких вторжений полярного воздуха в исследуемом районе. Вторжения выбирались на основании изменчивости PV- θ в районе г. Томска, причем падение PV- θ должно составлять не менее 10 К. На основе анализа были выбраны 16 событий. Рассчитывалось отклонение между максимальной концентрацией в течение трех дней до вторжения и минимальной концентрацией в течение трех дней после. Среднее отклонение составило 137000, $\sigma = 84000$, минимальное значение 25800, максимальное – 327000. Рассчитана также средняя скорость падения концентрации. Средняя скорость составила 47000, $\sigma = 31000$, минимальное значение – 6400, максимальное – 111000. Парный расчет линейной зависимости между скоростями падения температур и концентраций, а также величиной отклонения температур и концентраций не продемонстрировал значимой зависимости. Предварительный синоптический анализ уточнил, что величина изменения концентрации вероятно в большей степени обусловлена конфигурацией каждого отдельного вторжения.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 19-05-50024, 18-45-700020 p_a). Поддержка используемого оборудования для измерения газового состава осуществляется в рамках государственного задания по проекту П.10.3 (номер госрегистрации № АААА-А17-117021310142-5).

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА АТМОСФЕРНЫЕ АЭРОЗОЛИ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БАЙКАЛА

А.В. Стариков, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов

*Лаборатория дистанционного зондирования атмосферы ИФМ СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия
u214st@yandex.ru*

ЛДЗА ИФМ СО РАН проводит исследование влияния лесных пожаров на природу атмосферных аэрозолей на стационаре Боярский, на юго-восточном побережье оз. Байкал. Известно, что лесные пожары являются крупным источником таких веществ как сажа, оксиды углерода, полиароматические и неметановые углеводороды, альдегиды, летучие органические соединения, соединения серы и азота [1]. За счет конденсации органических и неорганических веществ, выбросов сажи и подъема частиц почвы образуется дымовой аэрозоль. Показано, что перенос дымовой эмиссии от пожаров оказывает большое влияние на атмосферные аэрозоли на юго-восточном побережье оз. Байкал. При переносе дымовой эмиссии сильно возросло содержание взвешенных веществ в атмосфере. В аэрозоле увеличивается доля компонентов связанных со сжиганием биомассы (сульфат-ионы, хлорид-ионы, ионы калия, кальция, бромид-ионы). Влияние дымовой эмиссии на состав взвешенных частиц обнаружено даже в периоды со слабым переносом выбросов от лесных пожаров на Байкал. Установлено, что в последние годы лесные пожары можно считать основным фактором влияющим на аэрозольную обстановку на Байкале.

1. Diapouli E., Popovicheva O., Kistler M., Vratolis S., Persiantseva N., Timofeev M., Kasper-Giebl A., Eleftheriadis K. Physicochemical characterization of aged biomass burning aerosol after long-range transport to Greece from large scale wildfires in Russia and surrounding regions, Summer 2010 // Atmos. Environ. 2014. V. 96. P. 393–404.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕТЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СУБМИКРОННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

А.М. Медвяцкая¹, В.Ф. Рапута^{1,2}, Н.А. Романовская³

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

²Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, Россия

³Новосибирский государственный технический университет, Россия

medvyatskaya@mail.ru, raputa@sscc.ru

Интенсивность загрязнения атмосферы городов субмикронными аэрозолями зависит от значительного числа факторов, обладающих большой изменчивостью. К ним, в первую очередь, следует отнести временную эмиссию от большого количества источников, высоту подъема примеси, метеорологические условия.

В докладе обсуждаются результаты численного анализа данных измерений субмикронных фракций аэрозоля (PM_{2,5}, PM₁₀) на сети автоматических станций в атмосферном воздухе г. Новосибирска в 2019/20 гг. Выявлены достаточно тесные корреляционные связи между измерениями на станциях и эпизодами высокого загрязнения атмосферы города. Проведен сравнительный анализ данных измерений концентраций субмикронных фракций атмосферных аэрозолей и текущих метеорологических условий. Особое внимание уделено эпизодам акцентированного поступления примесей в точки измерений от ТЭЦ и автомагистралей города. Показано, что весьма информативным является совместный анализ данных измерений концентраций субмикронных фракций атмосферных аэрозолей на станциях и текущих метеорологических условий. Он позволяет установить связи с источниками, изучать суточную динамику их выбросов, выявлять метеорологические условия, способствующие высоким уровням загрязнения городской атмосферы.

Для периода сильного дымового смога от лесных пожаров 2019 г. в Восточной Сибири выполнен сравнительный статистический анализ данных сетевых измерений концентраций субмикронных аэрозолей в гг. Новосибирске, Томске, Челябинске. Выявлены закономерности изменения концентраций примесей в этих городах для рассматриваемого периода времени.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004), РФФИ и Правительства Новосибирской обл. в рамках научного проекта № 19-47-540008.

ДИНАМИКА РЯДА МАЛЫХ ГАЗОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ И АЭРОЗОЛЯ В РАЗНЫХ ВОЗДУШНЫХ МАССАХ ТРОПОСФЕРЫ ФОНОВОГО РАЙОНА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ САМОЛЕТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

О.В. Праслова, Б.Д. Белан, В.Г. Аршинова, Д.В. Симоненков, А.В. Фофонов

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

rov@iao.ru

В настоящей работе использовались данные, полученные при самолетном зондировании, выполненным с апреля 2010 г. по март 2020 г. над Караканским бором, расположенном на правом берегу южной части Новосибирского водохранилища.

Представлены результаты исследований некоторых малых газовых составляющих за отмеченный период в тропосферном слое 500–7000 м над Караканским бором. Анализируется дисперсный состав аэрозоля и концентрации некоторых газов в различных воздушных массах. Тип воздушной массы устанавливался по синоптическим картам. Используемые измерительные приборы – газоанализаторы и аэрозольный спектрометр Grimm 1.109 с их характеристиками представлены в [1]. Изменчивость концентраций диоксида углерода и озона для всего периода измерений не является статистически значимой в зависимости от воздушных масс. По значениям концентраций мелких частиц аэрозоля более близки между собой арктическая и умеренная воздушные массы, по крупным – умеренная и субтропическая.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-50024; Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии.

1. Анохин Г.Г., Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Барсук В.Е., Белан Б.Д., Белан С.Б., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Козлов В.С., Морозов М.В., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Пестунов Д.А., Сиков Г.П., Симоненков Д.В., Синецын Д.С., Толмачев Г.Н., Филиппов Д.В., Фофонов А.В., Чернов Д.Г., Шаманаев В.С., Шмаргунов В.П. Самолет-лаборатория Ту-134 «Оптик» // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 9. С. 805–816.

NEW WAY OF MONITORING OF THORON EXHALATION FROM SOILS INTO THE ATMOSPHERE

N.Yu. Ejova¹, P. Mac-Donald¹, G.A. Yakovlev², S.V. Smirnov³, V.S. Yakovleva¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Tomsk State University, Tomsk, Russia

³Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of SB RAS, Tomsk, Russian Federation
vsyakovleva@tpu.ru

Due to its short half-term (55.6 s), the health risk from thoron (²²⁰Rn) is generally underestimated, but thoron decay products produced can contribute significantly to dose rate. In the present study, thoron exhalation flux density were measured continuously in geophysical observatory of IMCES SB RAS using a new way including automated accumulation chamber technique. Results were analysed to get information on the characteristics of thoron exhalation. The findings are discussed in detail in the report.

A NEWLY DEVELOPED MULTIFUNCTIONAL DEVICE FOR MEASUREMENT OF RADON EXHALATION FROM SNOW COVER SURFACE

A.B. Addo¹, P. MacDonald¹, S.V. Smirnov², G.A. Yakovlev³, A. Shumilo¹, V.S. Yakovleva¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

²Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of SB RAS, Tomsk, Russian Federation

³Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

adamsbenjaminaddo@gmail.com

Due to many variables related to the underlying geological formations and construction structure, the strategy of radon research in association with radon gas from porous material outcomes in enhanced concentrations of radon. This research has been conducted in many nations with the use of various radon measurement devices.

Thus, in this research, the design and description of a newly developed multifunctional device and techniques for measuring radon flux density from snow cover surface was design and explained in order to assess its reliability.

СЕЗОННЫЕ И СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ АЛЬФА-ФОНА ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

К.В. Моргачева¹, Г.А. Яковлев², С.В. Смирнов³, М.Ю. Аршинов⁴, В.С. Яковлева¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

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

kristay198@mail.ru

Альфа-фон активно изучали в прошлом столетии, когда еще отсутствовали радиометры изотопов радона и альфа-излучающих дочерних продуктов их распада. В то время по альфа-излучению, измеряемому в атмосфере как вблизи земной поверхности, так и на высотах порядка 1 км, изучали процессы переноса воздушных масс, температурные инверсии и пр. В настоящее время альфа-фон практически никем не исследуется, а зря.

Применительно к малым дозам радиации значение альфа-фона в воздухе на уровне дыхания человека практически равно тому значению, которое можно получить только расчетными способами с использованием сложных моделей, на основании данных об объемной активности альфа-излучающих радионуклидов внутри дыхательной системы человека. Другое преимущество в измерении альфа-фона, перед различными методами измерения активности альфа-излучающих радионуклидов, содержащихся в атмосфере, заключается в простоте пересчета в суммарный поток альфа-излучения. К тому же детекторы альфа-излучения на пару порядков экономичнее любого радиометра радона.

Альфа-фон «говорит» нам о локальной ситуации в радиусе до 10 см о содержании альфа-излучающих радионуклидов, в чем, несомненно, кроется еще одно его преимущество при использовании в качестве трассера-индикатора различных динамических процессов, происходящих в окружающей среде.

В работе детально обсуждаются выявленные закономерности сезонного и суточного характера, а также влияющие факторы.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

МЕТОДИКА АНАЛИЗА СУТОЧНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ОБЛАЧНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАНЫМ MODIS И VIIRS

А.В. Скороходов¹, Я.К. Митрофаненко^{1,2}

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
vazime@yandex.ru

В настоящее время облака остаются одним из основных источников неопределенности в происходящих климатических изменениях [1]. С одной стороны усиление парникового эффекта может привести к уменьшению относительной влажности воздуха, а впоследствии к сокращению облачности. С другой стороны глобальное потепление способствует увеличению испаряемости и росту числа облаков. При этом различные типы облачности по-разному влияют на климатическую систему. Одни разновидности отражают приходящее солнечное излучение назад в космическое пространство, другие рассеивают его, третьи задерживают уходящую длинноволновую радиацию. Для улучшения понимания роли облаков в происходящих климатических изменениях применяются методы математического моделирования. Однако существующие модели климата и численного прогноза погоды имеют недостаточное для этого пространственное и временное разрешение. Поэтому актуальной является задача создания детальных параметризаций различных процессов, происходящих в системе «атмосфера – подстилающая поверхность» в подсеточном масштабе. В докладе представлена методика анализа суточной изменчивости характеристик различных типов облачности по спутниковым данным MODIS и VIIRS. Обсуждаются результаты апробации предложенного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 19-71-00049.

1. Bony S., Stevens B., Frierson D.M.W., Jakob C., Kageyama M., Pincus R., Shepherd T.G., Sherwood S.C., Siebesma A.P., Sobel A.H., Watanabe M., Webb M.J. Clouds, circulation and climate sensitivity // Nat Geosci. 2015. V. 8. P. 261–268.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИНТЕРПОЛЯЦИИ СОВМЕСТНЫХ ПОЛЕЙ ОСАДКОВ И МОДУЛЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

Н.А. Каргаполова^{1,2}, В.А. Огородников^{1,2}

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

²Новосибирский государственный университет, Россия
ova@osmf.ssc.ru

Рассматривается численная стохастическая модель совместных пространственно-временных полей осадков и модуля скорости ветра, построенная на основе данных наблюдений на ряде станций Новосибирской и Томской обл. Данная модель используется для построения поля вышеуказанных метеорологических параметров на регулярной сетке. Для восстановления значений полей в узлах сетки сравниваются различные детерминированные и вероятностные методы интерполяции, в том числе некоторые модификации кригинга, стохастическая интерполяция, полиномиальная интерполяция и др. Для методов типа кригинг, например, оптимальной интерполяции, используется предположение о пространственной однородности полей. Для методов стохастической интерполяции и ряда методов детерминированной весовой линейной интерполяции не требуется знание совместной пространственно-временной корреляционной функции этих полей. Тем не менее они позволяют отражать характерные особенности неоднородности поля, которая проявляется в матричной корреляционной функции совместных рядов на станциях. На основе интерполированных полей проводится оценка степени неоднородности поля. Качество интерполяции проверяется методом кросс-валидации.

Работа выполнена в рамках госзадания № 0315–2019–0002 при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-01-00149), РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-41-543001-р_мол_a.

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ ОКНА ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

И.А. Ботыгин^{1,2}, В.А. Крутиков², К.В. Новицкая¹, В.С. Шерстнев¹, А.И. Шерстнева¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

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

Непараметрическая статистика, как наука анализа данных, впервые была обозначена американским ученым польского происхождения Яковом Вулфовицем в начале 1940-х гг. прошлого столетия [1]. В отличие от классической параметрической статистики, методы непараметрического анализа позволяют обрабатывать данные без знания какой-либо априорной информации об объекте исследования. По крайней мере, без жесткого тестирования исследуемых данных на наличие критериев, являющихся внешними к самим данным.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования влияния ширины окна декомпозиции на разделимость рядов, т.е. на возможность восстановления аддитивных составляющих исходного ряда, используя сингулярно-спектральное разложение его траекторной матрицы. В качестве исследуемого временного ряда был взят температурный ряд, полученный с ультразвуковой метеостанции полигона ИМКЭС СО РАН (координаты станции: 56,4754° с.ш., 85,0543° в.д.) за период с 1 октября 2018 г. по 15 октября 2019 г. Использовались усредненные на интервале в одну минуту температурные значения метеостанции в градусах Цельсия.

Показано, что методология сингулярно-спектрального анализа (Singular Spectrum Analysis, SSA) достаточно продуктивна при анализе метеорологических рядов наблюдений. 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. Но еще более эффективна методология SSA при исследовании нестационарных нелинейных временных рядов со сложной и изменяемой структурой.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской обл. 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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ЧАСТОТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

И.А. Ботыгин^{1,2}, В.Ф. Гордеев², С.Ю. Малышков², С.Ф. Феклин¹, А.И. Шерстнева¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
sff1@tpu.ru

Одной из проблем различных регистраторов параметров атмосферы является возникновение флуктуаций в выходном потоке данных, что обуславливается наложением на полезный сигнал аддитивных или мультипликативных помех [1]. Возникающие случайные ошибки являются непрерывной случайной величиной и не всегда подчиняются определенному вероятностному закону их распределения.

В настоящем докладе приведены результаты исследования по фильтрации помех в измерительных каналах с использованием основных алгоритмов частотной фильтрации. Исследование проводилось с позиции подавления высокочастотных случайных помех. Для проведения программных экспериментов с целью сравнительного анализа алгоритмов фильтрации использовался язык программирования Python. Для реализации алгоритмов фильтрации использовалась библиотека *scipy* с набором пакетов для проведения спектрального анализа. Интерпретация временных и амплитудно-частотных характеристик выполнена с использованием библиотеки *rugarch*. В качестве регистраторов параметров приземной атмосферы использовались ультразвуковые метеостанции с полигона ИМКЭС СО РАН.

Проведенное сравнение результатов подавления высокочастотных случайных помех, а также расчет частотной погрешности, выполненных с использованием БИХ-фильтров, КИХ-фильтров, фильтров на основе взвешенных оконных функций, а также фильтров на базе дискретного и непрерывного вейвлет-преобразования

демонстрирует возможность выбора оптимального ряда методов частотной фильтрации с учетом допустимого уровня достоверности и точности полученных результатов.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской обл. в рамках научного проекта № 18-47-70005р_а.

1. *Лоцманов А.А.* Разработка и исследование структур адаптивных систем нелинейных и рекурсивных цифровых фильтров на основе метода наименьших квадратов для повышения показателей качества различных радиотехнических устройств: дис. ... канд. техн. наук. 5.12.04. Рязань. 2004. 182 с. РГБ ОД, 61:05-5/330.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

А.С. Сафатов, Н.А. Лаптева

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

Проблема охраны окружающей среды и ее восстановления становится одной из важнейших задач науки, развитие которой стимулируется все возрастающими темпами технического прогресса во всех странах мира. Для большинства крупных городов характерно чрезвычайно сильное и интенсивное загрязнение атмосферы. Более того, поскольку в городах наблюдается одновременное воздействие множества загрязняющих агентов, их совместное действие может оказаться еще более значительным.

Моделирование распространения загрязнений в атмосфере играет важную роль при проектировании жилой застройки, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, зон отдыха и подобных объектов. В этих случаях важно определить направление возможного распространения загрязнений, их интенсивность и оседание на местности. Это позволяет минимизировать степень экологической опасности, улучшить уровень комфорта проживания и отдыха населения и оптимизировать финансовые затраты на экологические мероприятия.

Возможно также решение других задач, связанных с экологией, которые могут появиться при развитии региона или при природных либо техногенных катастрофах

АВТОРЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СЛОИСТОЙ ОБЛАЧНОСТИ

С.М. Пригарин^{1,2}

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

²*Новосибирский государственный университет, Россия
sergeim.prigarin@gmail.com*

Облачность является одним из ключевых факторов, определяющих особенности переноса излучения и радиационного баланса в атмосфере Земли. Для исследования влияния пространственной неоднородности и случайности облачных полей на процессы переноса излучения актуальной является задача построения численных моделей, более или менее детально воспроизводящих стохастическую структуру облачности. Этой задаче посвящено множество исследований (см., например, [1–3]). В данной работе предлагается численная модель поля оптической толщины и пространственного распределения коэффициента ослабления слоистой облачности на основе нелинейных преобразований 2D- и 3D-схем авторегрессии. Модель позволяет приближенно воспроизводить одномерные распределения и корреляции, наблюдаемые в реальных облачных полях. Преимуществами разработанной модели является простота настройки параметров и эффективность численной реализации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-01-00609).

1. *Зуев В.Е., Тутов Г.А.* Оптика атмосферы и климат. Томск: Спектр, 1996.
2. *Журавлева Т.Б.* Моделирование переноса солнечного излучения в различных атмосферных условиях. Часть II: Стохастическая облачность // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 3. С. 189–202.
3. *Prigarin S., Marshak A* simple stochastic model for generating broken cloud optical depth and cloud top height fields // J. Atmos. Sci. 2009. V. 66, N 1. P. 92–104.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СПЛОШНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

Е.Г. Каблуква

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

Исследование влияния облачности на радиационные потоки в атмосфере Земли представляет одну из важных задач при изучении радиационного баланса Земли, в задачах формирования климата и прогноза погоды. В работе проведено сравнение полей пропущенной и отраженной радиации для случайных моделей сплошной облачности с горизонтальной и трехмерной неоднородностью, построенных с помощью схемы авторегрессии первого порядка [1], и для новой трехмерной модели сплошной облачности с заданным распределением интеграла по высоте [2]. Методом Монте-Карло оценены интегральные характеристики и угловые распределения излучения, отраженного и пропущенного случайными облачными слоями. Вычислены корреляционные функции полей пропущенной и отраженной радиации.

Работа выполнена в рамках госзадания № 0315-2019-0002.

1. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005.
2. Kablukova E.G., Mikhailov G.A., Ogorodnikov V.A., Prigarin S.M. Simulation of a random field with given distribution of one-dimensional integral // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2019. V. 34(6). <https://doi.org/10.1515/rnam-2019-0028>.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВИХРЕВОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОМ АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Л.И. Курбацкая

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

С помощью мезомасштабной RANS-модели турбулентности установлено, что поведение параметров турбулентного вихревого перемешивания согласуется с данными измерений, проведенных в лаборатории и в атмосфере. Исследуются некоторые проблемы, возникающие при описании турбулентного вихревого перемешивания в атмосферном пограничном слое. В частности, при переходе течения в сильно устойчивое состояние потоковое число Ричардсона Ri_T может изменяться немонотонно, возрастая с увеличением градиентного числа Ричардсона Ri_g до достижения состояния насыщения $Ri_g \approx 1$, а затем убывая.

Показано, что поведение вихревых коэффициентов диффузии импульса и тепла согласуется с представлением о поддержании переноса импульса (но не тепла) распространяющимися внутренними волнами в сильно устойчивом состоянии атмосферного пограничного слоя.

Работа выполнена в рамках госзадания Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН № 0315-2019-004 и при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-01-00560А.

1. Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л. И. Моделирование устойчивого пограничного слоя со струей низкого уровня // Прикладная механика и техническая физика. 2010. Т. 51. С. 42–51.
2. Zilitinkevich S.S., Elperin T., Kleorin N., Rogachevskii I., Esau I., Mauritsen T., Miles M.W. Turbulence energetic in stably stratified geophysical flows: Strong and weak mixing regimes // Quarterly J. Meteorol. Soc. 2008. V. 134. P. 793–799.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИ АНИЗОТРОПНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЛАКОВ (ВИДИМЫЙ ДИАПАЗОН)

Т.Б. Журавлева, Д.Н. Тимофеев, В.А. Шишко, А.В. Коношонкин

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

Несмотря на важную роль в формировании радиационного бюджета Земли, кристаллические облака являются одним из наименее изученных компонентов атмосферы. Количественная оценка их радиационных эффектов была и остается целью многочисленных исследований как на основе эмпирических данных спутниковых, наземных и спутниковых наблюдений, так и численного моделирования.

Моделирование радиационных характеристик кристаллической облачности основывается на решении задачи, связанной с расчетом оптических характеристик несферических ледяных частиц с учетом их формы, размеров и пространственной ориентации. В отличие от задач, использующих предположение о хаотической ориентации частиц, расчет оптических и радиационных характеристик кристаллов преимущественной (в основном, горизонтальной) ориентации является гораздо более сложной задачей.

В настоящей работе представлены алгоритмы метода Монте-Карло для расчета спектральных потоков и полей яркости солнечного излучения в присутствии однородных кристаллических облаков с учетом оптической анизотропии. В качестве оптической модели была выбрана полученная в приближении геометрической оптики модель кристаллического облака, состоящего из ледяных гексагональных квазигоризонтально ориентированных пластинок [1]. Приведены результаты численных экспериментов, выполненных для различных размеров пластинок и углов флаттера. Обсуждается изменчивость радиационных характеристик кристаллических облаков, обусловленная влиянием ориентации частиц.

Работа выполнена в рамках госзадания (проект № АААА-А17-117021310142-5) при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-01-00351).

1. Konoshonkin A.V., Zhuravleva T.B., Borovoi A.G., Kustova N.V., Shishko V.A., Timofeev D.N. // Proc. SPIE. 2019. V. 11208. DOI: 10.1117/12.2556647.

МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОЙ ФАЗЫ ПОДЪЕМА ДЫМОВОЙ СТРУИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.А. Леженин¹, В.Ф. Рапута^{1,2}

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

²НИИ гигиены Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия

lezhenin@ommafao.ssc.ru

На космических снимках детально визуализируются шлейфы от труб промышленных предприятий и крупных ТЭЦ. Спутниковые снимки позволяют фиксировать активную и пассивную фазы распространения дымовых струй [1]. Эти наблюдения дают возможность получать оперативную информацию о распространении примесей в атмосфере.

В докладе обсуждается метод численного восстановления характеристик активной стадии подъема дымового факела. Рассмотрены модели оценивания процессов распространения примеси от источника под воздействием динамических и тепловых факторов в условиях нейтрально стратифицированной атмосферы. Использованы аналитические решения уравнений гидротермодинамики в осесимметричном приближении. На основе зимних спутниковых снимков проведен численный анализ активной фазы подъема шлейфов от труб крупных ТЭЦ г. Новосибирска и Байкальской природной территории. Получены соотношения для расчета вертикальной скорости подъема и изменения температуры дымовой струи в атмосфере. Предлагаемый подход наиболее применим для зимних условий, поскольку, наличие снежного покрова обеспечивает контрастность теней шлейфов на земную поверхность.

Спутниковые снимки позволяют получить объективную оценку высоты подъема дымового факела. Для развития методов оценивания характеристик подъема шлейфов при устойчивой и неустойчивой стратификации атмосферы требуется численное решение уравнений гидротермодинамики атмосферы.

Работа выполнена в рамках гранта № 13.1902.21.0033 Министерства науки и высшего образования РФ, при поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской обл. (научный проект № 19-47-540008).

1. Рапута В.Ф., Леженин А.А., Ярославцева Т.В. // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. Т. 1, № 4. С. 137–146.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ПРИМЕСЕЙ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ МЕЗОРЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ

Э.А. Пьянова, В.В. Пененко

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

pianova@ngs.ru

Представлены результаты численных сценариев, описывающих условия формирования атмосферных циркуляций и особенностей распространения загрязнения от промышленных центров Иркутско-Черемховской промышленной зоны в атмосфере Байкальского региона и над акваторией Байкала. Основное внимание уделя-

ется изучению зимних метеорологических сценариев в условиях преобладания западных и северо-западных ветров, которые способствуют переносу примесей от крупных ТЭЦ к оз. Байкал. Моделирование выполнено на основе трехмерной негидростатической модели динамики атмосферы и переноса примесей.

Работа, в части развития базовых математических моделей, выполняется в рамках темы государственно заданная ИВМиМГ СО РАН № 0315-2019-0004. Проведение исследований для Байкальского региона поддержано РФФИ № 17-29-05044.

О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МОДЕЛИ WRF ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ В РАЙОНЕ ТОМСКА

А.В. Старченко, А.А. Барт, Л.И. Кижнер, Т.Н. Пичугина

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
rector@tsu.ru*

В лаборатории вычислительной геофизики Томского госуниверситета ведется работа по численному моделированию метеорологических условий и загрязненности атмосферы в районе города Томска с использованием созданных сотрудниками лаборатории и общедоступных моделей. Одной из таких общедоступных моделей является модель WRF [1] – результат работы ученых со всего мира. Модель разрабатывается как мезомасштабная модель, которая может быть использована для любых территорий на планете и поэтому позволяет выбирать различные параметризации процессов подсеточного масштаба и настраивать их в соответствии с конкретными условиями.

Ранее [2] с использованием модели были подобраны наиболее подходящие параметризации и выполнены прогнозы состояния атмосферы для разных сезонов года и погодных условий, показана ее перспективность. С каждой новой версией модели WRF увеличивается набор опциональных параметризаций, что должно приводить к улучшению прогноза. В работе выполнены вычислительные эксперименты с целью оценок возможности использования новых параметризаций и улучшения качества прогноза.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 19-71-20042).

1. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Duda D.M., Wang W., Powers J.G. A description of the advanced research WRF version 3 // NCAR Tech. Note. NCAR/TN-68CSTR, 2008. 100 p.
2. Кижнер Л.И., Нахтигалова Д.П., Барт А.А. Использование прогностической модели WRF для исследования погоды Томской области // Вестн. Том. гос. ун-та. 2012. № 358. С. 219–224.

СЦЕНАРИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ОЗЕРА БАЙКАЛ

Е.А. Цветова

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

Моделирование природных процессов связано с наличием большого числа неопределенностей в формулировках моделей, в задании параметров и выборе параметризаций подсеточных масштабов. При наличии построенных моделей большое значение имеет адекватная формулировка конкретной задачи, определяющая цели исследования. В тех случаях, когда речь идет о конкретных событиях за конкретные даты, успех зависит от адекватного задания начального состояния моделируемой природной системы и знания источников возмущений в рассматриваемом интервале времени. Для сложных многомерных моделей пока нет возможности получить от систем мониторинга достаточное количество информации, поэтому при моделировании используют различные методы инициализации функций состояния, методы усвоения данных и сценарный подход.

Сценарный подход позволяет получить вариантную оценку результатов в зависимости от задаваемых параметров. В докладе приводятся результаты сценарных расчетов с различными вариантами задания источников загрязнений, связанных с распространением спорогриы на Байкале. Моделирование выполняется на основе трехмерной нестационарной негидростатической модели озера и модели переноса примесей.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИВМиМГ СО РАН № 0315-2019-0004 при поддержке проекта РФФИ № 20-01-00560.

УТОЧНЕНИЕ ЭМИССИЙ PM_{10} КАДАСТРА ЕМЕР ДЛЯ РАСЧЕТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ CHIMERE В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

Д.В. Борисов¹, И.Ю. Шалыгина¹, И.Н. Кузнецова¹, М.И. Нахаев¹, Е.А. Лезина²

¹ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия

²ГПБУ «Мосэкомониторинг», г. Москва, Россия

lbj23.98@mail.ru

Большая часть погрешностей расчетов химических транспортных моделей (ХТМ) связана с начальными данными. Неточности данных эмиссий вносят систематические погрешности в расчеты ХТМ. Технологическая линия расчетов концентрации загрязняющих примесей в московском регионе, реализованная в Гидрометцентре России, построена на использовании модели атмосферы Cosmo-Ru и ХТМ CHIMERE с использованием кадастра эмиссий ЕМЕР. Регулярный мониторинг качества модельных расчетов с использованием данных мониторинга сети АСКЗА «Мосэкомониторинг» позволил установить систематические погрешности расчетных концентраций доминирующих загрязняющих примесей. В предыдущих исследованиях показаны примеры адаптации кадастра ЕМЕР для расчетов концентраций CO и NO_x .

Путем сравнения расчетов средних месячных наблюдаемых и расчетных концентрацией PM_{10} установлено несоответствие сезонного хода расчетных и наблюдаемых концентраций, что связано с модельным сезонным ходом эмиссии PM_{10} , характерным для Европы и отличным от наблюдаемого в Москве. Эксперименты по коррекции модельных сезонных коэффициентов пересчета годовых эмиссий PM_{10} показали эффективность такого подхода. Различия величин модельных погрешностей концентрации PM_{10} в южной и северной частях города указали на необходимость пространственной коррекции начального поля эмиссии. Также как и базовые поля эмиссии CO и NO_x , поле эмиссий PM_{10} ЕМЕР на территории Москвы имеет характерное смещение максимума в юго-западную часть города. Предложенные процедуры коррекции эмиссий позволили получить более сглаженное начальное поле городских эмиссий и приближение модельных расчетов концентрации PM_{10} к наблюдаемым на станциях мониторинга концентрациям.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ ДЛЯ МЕЗОМАСШТАБНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Н.В. Гольдина, А.В. Старченко

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

goldinavi09@gmail.com, starch@math.tsu.ru

Разработанная в Национальном исследовательском Томском государственном университете мезомасштабная метеорологическая модель TSUNM3 (Tomsk State University Nonhydrostatic Mesoscale Meteorological Model) является локальной численной моделью, предназначенной для прогнозирования погоды для условий Западной Сибири [1]. При инициализации и задания граничных условий для мезомасштабной модели TSUNM3 используются результаты численных расчетов по оперативной глобальной модели ПЛАВ Гидрометцентра РФ в версии для среднесрочного прогноза погоды (за 72 ч на уровнях 1000, 975, 950, 925, 900, 850, 700, 500, 400, 300 гПа) с разрешением 3 ч по времени в первые 48 ч. В рассматриваемой области исследования 200×200 км попадает 11×17 узлов расчетной сетки модели ПЛАВ.

Для повышения точности расчетов применяются методы интерполяции. В данной работе для интерполяции значений метеопараметров глобальной модели ПЛАВ Гидрометцентра РФ был выбран модифицированный метод Шепарда. После интерполирования значения компоненты скорости ветра могут не удовлетворять уравнению неразрывности. Для того, чтобы разрешить эту проблему было проведено уточнение интерполируемых значений для компонент ветра с помощью метода представленного в [2]. Уточнение значений скорости произведено с помощью параметра, называемого Лагранжевым множителем и полученного путем решения уравнения Пуассона в криволинейной системе координат, следящей за рельефом земной поверхности.

1. Starchenko A.V., Bart A.A., Bogoslovsky N.N., Danilkin E.A., Terentyeva M.V. A mathematical modelling of atmospheric processes above an industrial center // Proc. SPIE. 2014. V. 9292. P. 929249-1–929249-30.

2. Sherman C.A. A Mass-Consistent Model for Wind Fields over Complex Terrain // J. Appl. Meteorol. 1978. V. 17, N 3. P. 312–319.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА И ИМПУЛЬСА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ С РАЗЛОЖЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ НА РАЗЛИЧНЫЕ МАСШТАБЫ

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

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

Рассмотрены результаты расчетов турбулентных потоков тепла и импульса в приземном слое атмосферы на основе экспериментальных данных, полученных с помощью ультразвуковых метеостанций на разных высотах и в разных пунктах наблюдения. Особенность проведенного анализа заключается в том, что экспериментально полученные выборки температуры воздуха и компонентов вектора ветра разлагаются на «детерминированную», «локальную» и «турбулентную» составляющие (обычно применяется разложение «детерминированная + турбулентная» составляющие). И только после этого рассчитываются и сравниваются различные комбинации смешанных моментов. Еще одной особенностью является примененная нами методика разложения горизонтального ветра на компоненты. Обычно рассматривается случай «продольный + поперечный» ветер. В представленных результатах используется разложение горизонтального ветра по схеме «север/юг + восток/запад». Обсуждаются особенности турбулентных потоков тепла и импульса при таком подходе.

ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ (СКОРОСТИ ТРЕНИЯ) ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

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

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

Динамическая скорость (скорость трения) u_* входит практически во все вычислительные схемы, предназначенные для прогноза состояния атмосферы. Для ее определения необходимо знание смешанных моментов турбулентных составляющих компонентов вектора ветра. Однако такая информация (о турбулентности) отсутствует на начальной стадии прогноза. Обычно используют модельные представления u_* , опирающиеся на ее связь со скоростью ветра U . В докладе рассматриваются эмпирические взаимосвязи $u_*(U)$ для различных условий (по времени суток, по сезонам года, по типу стратификации). Исходные экспериментальные данные для поиска таких взаимосвязей получены ультразвуковыми метеостанциями, работавшими в приземном слое атмосферы в различных пунктах наблюдения. Проводится сопоставление выявленных эмпирических взаимосвязей $u_*(U)$ с некоторыми из используемых моделей.

ТРЕТЬИ МОМЕНТЫ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ТЕПЛА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

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

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

В докладе представлены оценки смешанных моментов пульсаций температуры воздуха (T) и вертикально-го ветра (w') вида $\langle w' \cdot w' \cdot T' \rangle$ (осреднение за некоторый интервал времени). Эти параметры получены при обработке экспериментальных данных ультразвуковых метеостанций, работавших на двух высотах (5 и 10 м) на территории с естественным ландшафтом. Основная цель проведенной работы – определить (и, по возможности, параметризовать) взаимосвязь моментов $\langle w' \cdot w' \cdot T' \rangle$ и $\langle w' \cdot T' \rangle$, которая достаточно часто используется в различных схемах замыкания при решении систем уравнений для прогноза состояния атмосферы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ВЫСОТЫ СЛОЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ УСТОЙЧИВОЙ СТРАТИФИКАЦИИ

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*

Рассмотрены оценки высоты H_m области интенсивного турбулентного теплообмена в пограничном слое атмосферы (ПСА), полученные с помощью содаров, размещенных в различных пунктах наблюдения (урбанизированная территория и естественный ландшафт). Для анализа результатов привлекались данные температурных профиломеров и ультразвуковых метеостанций, работавших в комплексе с содарами. Основное внимание было уделено случаям устойчивой стратификации ПСА (в первую очередь – инверсиям температуры воздуха). Проведен анализ взаимосвязи высоты H_m с градиентами температуры в ПСА, турбулентными потоками тепла и скоростью ветра. Обсуждаются результаты, полученные в летний и зимний периоды.

СРАВНЕНИЕ ВЫСОТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НАД УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИЕЙ И ЕСТЕСТВЕННЫМ ЛАНДШАФТОМ

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*

Проведено сравнение высотных профилей температуры воздуха в пограничном слое атмосферы, полученных с помощью температурных профиломеров МТР-5 одновременно в двух разных пунктах наблюдения (урбанизированная территория и естественный ландшафт) в различные сезоны года. Основная цель проведенного анализа заключалась в оценке высоты, до которой мог распространяться «городской остров тепла», если он имел место в приземном слое. Рассмотрены также различия в сравниваемых профилях температуры воздуха в зависимости от скорости и направления ветра в пограничном слое атмосферы (в его нижней части).

РАСЧЕТ ПОТОКОВ МЕТАНА С АКВАТОРИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ: ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ГАЗООБМЕНА

В.В. Малахова, М.В. Крайнева

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

Климатические изменения в высоких широтах Северного полушария приводят к росту температуры придонного слоя воды мелководных шельфов, что влияет на устойчивость субаквальных газовых гидратов, залегающих вблизи поверхности морского дна. Данные измерений показывают усиление эмиссии метана в атмосферу арктического региона, что может происходить в результате высвобождения газа из мелководных шельфовых газогидратов и увеличения проницаемости субаквальных многолетнемерзлых пород [1]. Оценки эмиссий метана с шельфа морей восточного сектора Арктики в атмосферу для современного периода характеризуются высокой неопределенностью [2].

На основе региональной модели «океан – лед», разработанной в ИВМиМГ СО РАН, проведено исследование переноса растворенного метана в водах арктических морей и получены оценки потока метана в атмосферу. На основе сценарных расчетов проведен модельный анализ эмиссии метана в атмосферу при задании источников этого газа на границе раздела «океан – дно». Оценки эмиссий метана в атмосферу выполнены на основе различных соотношений для параметризации процесса газообмена в системе «вода – атмосфера» и «вода – лед – атмосфера».

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-05-00241).

1. Малахова В.В., Елисеев А.В. Влияние рифтовых зон и термокарстовых озер на формирование субаквальной мерзлоты и зоны стабильности метаногидратов шельфа моря Лаптевых в плейстоцене // Лед и снег. 2018. Т. 58, № 2. С. 231–242.
2. Thornton B.F., Geibel M.C., Crill P.M., Humborg C., Mörth C.-M. Methane fluxes from the sea to the atmosphere across the Siberian shelf seas // Geophys. Res. Lett. 2016. V. 43. P. 5869–5877.

ВЛИЯНИЕ КАСКАДА ВИЛЮЙСКИХ ГЭС НА МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ р. ЛЕНЫ

А.И. Крылова¹, Н.А. Лаптева²

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

²ФБУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия
lapteva@vector.nsc.ru

При моделировании речного стока на основе линейной модели в бассейне р. Лены встала проблема влияния каскада Вилюйских ГЭС на водный и ледотермический режим реки. Наличие информации о режиме эксплуатации ГЭС позволило смоделировать внутригодовое регулирование стока не только в нижнем бьефе, но и по всем известным створам р. Вилюй вплоть до впадения в р. Лену. Были рассмотрены изменения расходов воды и ледотермического режимов р. Вилюй в условиях эксплуатации ГЭС-I, -II. Они позволяют сделать вывод, что влияние ГЭС на гидрологический режим притока р. Лены распространяется на значительное расстояние. Анализ результатов моделирования и данных о расходах воды в створе ГЭС и на створах р. Вилюй показывает, что Вилюйское водохранилище не оказывает влияние на гидрологический режим р. Лены в створе Кюсюр.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-05-00241) и госзадания ИВМиМГ СО РАН (проект № 0315-2019-0004).

КОЭФФИЦИЕНТЫ УШИРЕНИЯ И СДВИГА ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭТИЛЕНА, УШИРЕННЫХ ДАВЛЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, В ОБЛАСТИ 6100–6200 см⁻¹

Т.М. Петрова, А.М. Солодов, А.А. Солодов, В.М. Дейчули

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

В области 6100–6200 см⁻¹ проведены измерения коэффициентов уширения и сдвига линий поглощения этилена, уширенных давлением атмосферного воздуха. Значения коэффициентов уширения и сдвига получены из анализа спектров поглощения C₂H₄–воздух, зарегистрированных на Фурье-спектрометре IFS 125 HR, при комнатной температуре со спектральным разрешением 0,01 см⁻¹ в диапазоне изменения давления гелия от 0 до 1 атм. Для аппроксимации линий поглощения использован контур Фойгта, зависящий от скорости активной молекулы. Приведено сравнение с литературными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта № 18-45-700011.

КОЭФФИЦИЕНТЫ УШИРЕНИЯ И СДВИГА ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ МОЛЕКУЛЫ ВОДЫ, УШИРЕННЫХ ДАВЛЕНИЕМ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, В ОБЛАСТИ 6050–6500 см⁻¹

Т.М. Петрова¹, А.М. Солодов¹, А.А. Солодов¹, В.М. Дейчули¹, В.И. Стариков²

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

²Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия
tanja@iao.ru, solodov@iao.ru, asolodov@iao.ru, dvm91@yandex.ru, vstarikov@yandex.ru

В области 6050–6500 см⁻¹ проведены измерения коэффициентов уширения и сдвига более чем 200 линий поглощения H₂O, уширенных давлением атмосферного воздуха. Значения коэффициентов уширения и сдвига получены из анализа спектров поглощения H₂O–воздух, зарегистрированных на Фурье-спектрометре IFS 125 HR, при комнатной температуре со спектральным разрешением 0,01 см⁻¹ в диапазоне изменения давления воздуха от 0 до 1 атм. Для аппроксимации линий поглощения использован контур Фойгта, зависящий от скорости активной молекулы. Расчеты коэффициентов уширения и сдвига проведены, используя метод Робера-Бонами. Приведено сравнение с литературными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-45-700011.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В г. ТОМСКЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ CAMx

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

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
kateks93@mail.ru*

Большинство выбрасываемых в атмосферу аэрозолей из естественных источников не опасны для человека и не приносят вреда, однако могут ухудшать видимость за счет смога, инициируемого антропогенными выбросами.

Оценить загрязненность воздуха можно с использованием математических моделей, например с помощью модели CAMx v6.60 можно рассчитать загрязнение воздуха аэрозолями и другими вредными веществами. Эта модель учитывает физические процессы, в которых образуются или учувствуют аэрозоли: газофазная химия, химия аэрозолей, сухое и влажное осаждение [1]. В модели реализовано несколько широко распространенных механизмов химических реакций: CB05, CB6, SAPRC07. В качестве доступных опций модели для химии твердых частиц была выбрана CF-схема для крупных (до 10 мкм) и мелких (до 2,5 мкм) частиц.

Представлены результаты численного моделирования аэрозольных составляющих атмосферного воздуха в г. Томске, полученные с помощью модели CAMx, адаптированной под условия города, на основе метеорологических данных, рассчитанных с использованием модели WRF. Для отдельных дат произведено сравнение расчетов с данными измерений ТОР-станции ИОА СО РАН.

1. *Ramboll Environ. CAMx usersguide v6.50* [Электронный ресурс]. URL: http://www.camx.com/files/camxusersguide_v6-50.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ С ПОМОЩЬЮ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

А.В. Старченко^{1,2}, А.А. Барт^{1,2}, Л.И. Кижнер¹, С.Л. Одинцов^{1,2}

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
starch@math.tsu.ru*

В настоящее время для краткосрочного и сверхкраткосрочного прогноза погоды создаются и совершенствуются численные модели высокого пространственного разрешения (с горизонтальным разрешением от нескольких сотен метров до нескольких километров), позволяющие предсказывать мезомасштабные атмосферные явления для разных районов Земного шара.

В работе рассмотрена негидростатическая мезомасштабная метеорологическая модель TSUNM3 [1], в которую включена оригинальная моментная схема замыкания, опирающейся на трехпараметрическую модель турбулентности « $E-L-T^2$ » [2]. Усовершенствованная модель TSUNM3 прошла апробацию на классических экспериментальных данных для нейтральной, конвективной и устойчивой стратификаций однородного атмосферного пограничного слоя. Представлены результаты применения модели TSUNM3 для различных сезонов резко континентального климата Сибирского региона. Расчеты сравниваются с наблюдениями, полученными с помощью метеорологических приборов ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН им. В.Е. Зуева.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-71-20042).

1. *Starchenko A.V., Bart A.A., Bogoslovsky N.N., Danilkin E.A., Terentyeva M.V.* A mathematical modelling of atmospheric processes above an industrial center // Proc. SPIE. 2014. V. 9292. P. 929249-1–929249-30.

2. *Belikov D.A., Starchenko A.V.* Numerical model of turbulent pollutant transport in the atmospheric boundary layer. // Atmos. Ocean. Opt. 2007. V. 20, N 8. P. 607–612.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА г. ТОМСК С ПОМОЩЬЮ МЕЗОМАСШТАБНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ И ФОТОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ

Е.А. Шельмина¹, А.В. Старченко^{1,2}, А.А. Барт^{1,2}, Л.И. Кижнер¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

Исследование загрязненности городского воздуха в настоящее время остается одной из важных задач науки [1] и математическое моделирование является основным инструментом такого исследования. С помощью усовершенствованной мезомасштабных метеорологической модели высокого пространственного разрешения TSUNM3 [2] и фотохимической модели переноса примеси [3] было проведено исследование по выявлению (неблагоприятных) метеорологических условий, приводящих к загрязнению атмосферы г. Томска. Для оценки загрязненности использовался показатель – ИЗА (индекс загрязнения атмосферы).

Результаты расчетов ИЗА для центра города Томск показали, что наибольшие значения он принимает при слабом ветре (скорость ветра менее 1 м/с), а также при определенном направлении приземного ветра. Кроме того, установлена зависимость образования высокого уровня загрязнения приземного воздуха в городе вторичными примесями в жаркое время года при слабом ветре.

Расчеты сравниваются с наблюдениями, полученными с помощью метеорологических приборов ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН им. В.Е. Зуева.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-71-20042).

1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982.
2. Старченко А.В., Кужевская И.В., Кижнер Л.И., Барашкова Н.К., Волкова М.А., Барт А.А. Оценка успешности численного прогноза элементов погоды по мезомасштабной модели атмосферы высокого разрешения TSUNM3 // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 1. С. 57–61.
3. Bart A.A., Starchenko A.V. Modelling of urban air pollution by anthropogenic and biogenic source emissions // Proc. SPIE. The International Society for Optical Engineering. 2014. V. 9292. P. 929248-1–929248-8.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПЕРЕНОС ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Чжэн Пэнфэй¹, Б.А. Каргин^{1,2}, Е.Г. Каблукова²

¹Новосибирский государственный университет, Россия

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
BKargin@osmf.ssc.ru

Целью работы является всесторонний анализ влияния стохастичности рассеивающего слоя, имитирующего слоистую облачность, на характеристики рассеянного оптического излучения. Исследуются модели случайных полей коэффициента ослабления излучения $\sigma_e(x, y, z)$, построенные с помощью точечных потоков Пальма [1, 2], в которых значения $\sigma_e(x, y, z)$ случайно изменяются вдоль одной, двух или трех координатных осей. Оцениваются значения вероятности отражения, прохождения и поглощения излучения. Полученные результаты сравниваются с результатами расчета для рассеивающего слоя с постоянным коэффициентом ослабления σ_e , равным среднему значению $\sigma_e(x, y, z)$, для различных параметров индикатрисы рассеяния и значений альбедо однократного рассеяния. Исследуется влияние корреляционной длины и одномерного распределения случайного поля коэффициента ослабления на вероятности прохождения и отражения излучения. Оцениваются корреляционные функции случайных полей пропущенного и отраженного излучения.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0315-2019-0002

1. Михайлов Г.А., Войтищук А.В. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. М.: Академия, 2006.
2. Каргин Б.А. Статистическое моделирование поля солнечной радиации в атмосфере. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1984.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПОЛЕЙ В ЛЕСНОМ МАССИВЕ

М.С. Юдин

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

Обсуждается развитие и применение мезомасштабной метеорологической модели, основанной на конечных элементах [1] для расчета распределения атмосферных полей в лесном массиве. Модель основана на сжимаемых уравнениях Навье-Стокса.

Упрощенные модели пограничного слоя атмосферы применяются в широком диапазоне возможных приложений, например для определения начальных профилей метеорологических переменных в сложных трехмерных моделях. При введении параметризации распределения атмосферных полей с высотой в лесном массиве в уравнениях возникают преобладающие нелинейные члены. Обычные критерии численной устойчивости для линейных уравнений являются слишком грубыми при наличии сильной нелинейности. В работе исследовалось поведение решения при стремлении к стационарному состоянию. При определенном размере шага по времени возникает бифуркационный каскад, который можно устранить только существенно уменьшив этот шаг. Соответствующее нелинейное разностное уравнение исследовалось методами теории бифуркаций. Получен улучшенный критерий устойчивости, который переходит в обычный критерий при стремлении нелинейности к нулю.

Полученный критерий устойчивости был применен при расчете распределения атмосферных полей в лесном массиве для различных типов растительности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137: численное моделирование), а также ИВМиМГ СО РАН (госзадание 0315-2016-0004: разработка эффективных вычислительных алгоритмов).

1. *Yudin M.S.*, Verification of a FEM model of front evolution with varying thermal stratification // Proc. SPIE 11208. 25th Int. Sympos. Atmos. Ocean. Opt.: Atmos. Phys. 112087J (18 December 2019). DOI: 10.1117/12.2540624-404.

РЕАКЦИЯ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛЯРНОГО ВИХРЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ АНОМАЛИИ В СУБТРОПИЧЕСКОЙ СТРАТОСФЕРЕ

И.В. Боровко^{1,2}, В.В. Зуев³, Е.С. Савельева³

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

²*Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт,
г. Новосибирск, Россия*

³*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
irina@ommfaol.ssc.ru*

Устойчивость стратосферного полярного вихря в весенний период является одним из ключевых факторов, определяющих продолжительность и масштабы разрушения стратосферного озона в полярной области. Сильный полярный вихрь способствует формированию антарктической озоновой дыры. Анализ данных наблюдения показывает, что возможной причиной усиления южного полярного вихря могут быть температурные аномалии в субтропической стратосфере. [1] Например, в 2015 г., когда наблюдалось аномальное усиление южного стратосферного вихря, в южной субтропической стратосфере были зарегистрировано повышение температуры. В данном докладе представлены результаты моделирования реакции стратосферы внетропических широт на аномалии температуры тропической стратосферы. Обсуждаются возможные механизмы влияния субтропической стратосферы на высокие широты.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИВМиМГ СО РАН (№ 0315-2019-0003).

1. *Zuev V.V., Savelyeva E.* The cause of the spring strengthening of the Antarctic polar vortex // Dynam. Atmos. Ocean. 2019. V. 87. DOI: 10.1016/j.jastp.2019.04.016.

ЗАДАЧИ ПРОДОЛЖЕНИЯ С УЧАСТИЕМ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ И ХИМИИ АТМОСФЕРЫ

В.В. Пененко

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

Задачи продолжения – самый распространенный класс задач математического моделирования. Они встречаются в постановках прямого и обратного моделирования. В прямом варианте – это всем известные задачи прогноза погоды. С математической точки зрения – это начально-краевые задачи Коши, когда расчеты начинаются с заданных распределений функций состояния и всех параметров. Мы разрабатываем и исследуем алгоритмы решения задач последовательного продолжения для приложений, предназначенных для решения природоохранных проблем. Математические модели для таких приложений включают полные модели гидротермодинамики и модели транспорта и трансформации химических веществ, распространяющихся в атмосфере. Их основу составляют операторы, описывающие процессы конвекции – диффузии – реакции. Для реализации этих моделей мы используем вариационный подход и концепцию сопряженных интегрирующих множителей [1].

В тех случаях, когда по информации о функциях, описывающих состояние моделируемой системы, необходимо оценивать недостающие параметры модели, требуется решать обратные задачи. При этом численная модель обеспечивает описание дополнительных связей между параметрами, а искомые оценки ее параметров получаются с помощью методов оптимизации или других алгоритмов решения обратных задач. Мы используем специальные методы теории возмущений, непосредственно связывающие вариации исследуемых характеристик с вариациями параметров.

Работа выполнена в рамках проекта ИВМиМГ СО РАН (№ 0315-2019-0004), при поддержке РФФИ (гранты № 17-29-05044, 20-01-00560).

1. Пененко В.В., Пененко А.В., Цветова Е.А., Гочаков А.В. Методы исследования чувствительности модели качества атмосферы и обратные задачи геофизической гидротермодинамики // ПМТФ. 2019. Т. 60, № 2. С. 238–246.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИХ ПУСТЫНЬ НА АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д.В. Симоненков¹, К.А. Шукуров², А. Rashki³, О.В. Охлопкова⁴, А.В. Невзоров¹,
А.П. Макеев¹, Б.Д. Белан¹, О.В. Праслова¹

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

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия*

³*Department of Desert and Arid Zones Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

⁴*ФБУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия*

simon@iao.ru

Близость южных территорий России к поясу пустынь обуславливает подверженность этих регионов переносу воздуха с повышенным содержанием аэрозоля из аридных районов Центральной Азии. Юг Западной Сибири в силу доминирующего в регионе юго-западного переноса особенно подвержен воздействию пустынь запада Центральной Азии (Аралкум, Кызылкум, Каракумы), которые в период пустынных бурь являются мощными источниками аэрозольного загрязнения воздушного бассейна южно-сибирских территорий. Методы траекторного анализа дальнего переноса и восстановления полей потенциальных источников атмосферных примесей (АП) по данным измерений концентрации АП в точке (или содержания в толще с помощью лидарных измерений в сочетании с самолетными измерениями аэрозольно-газовых параметров и анализом химического и микробиологического состава отобранных во всех слоях тропосферы проб аэрозоля) и результатам моделирования обратных траекторий движения воздушных частиц (элементарных воздушных масс) с помощью траекторных моделей и полей реанализа метеорологических параметров, предполагают возможность с высокой точностью оценить степень влияния отдельных пустынных регионов Центральной Азии на южные регионы Западной Сибири.

Работа выполняется при поддержке программы Президиума РАН № 20, госзаданий № 0150-2018-0052 и 0368-2018-0011. Используется созданная и эксплуатируемая по госзаданию № АААА-А17-117021310142-5 инфраструктура ИОА СО РАН (ЦКП «Атмосфера»). Исследование отдельных фракций аэрозоля поддерживается грантами РФФИ (№ 18-45-700020 и 19-05-50024).

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО И ТЕПЛОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНО ОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

А.В. Артюшина, А.И. Привезенцев, Т.Б. Журавлева, И.М. Насртдинов

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

При решении прикладных задач атмосферной оптики, связанных с оценкой радиационных эффектов различных компонентов атмосферы (аэрозоль, газы, облачность), возникает необходимость проведения массовых расчетов широкополосных потоков солнечной и тепловой радиации. В данной работе представляется компьютерная система, которая обеспечивает подготовку входных параметров и вычисление потоков излучения, а также хранение, обработку и удобное для пользователя представление результатов численных экспериментов.

Вычисление радиационных потоков выполняется с использованием реализованных нами ранее статистических алгоритмов расчета нисходящей и восходящей радиации в солнечном (0,2–5 мкм) и тепловом (3–50 мкм) диапазонах спектра в рамках горизонтально однородной модели атмосферы с учетом (а) рассеяния и поглощения аэрозольными и облачными частицами, а также молекулами воздуха и (б) отражение от подстилающей поверхности. Учет поглощения атмосферными газами базируется на методе k -распределений и «рандомизации по частоте» в солнечном и тепловом диапазонах спектра соответственно. Подготовка спектроскопической информации осуществляется заранее с использованием различных метеомоделей атмосферы и базы данных HITRAN.

Формирование входных параметров радиационных расчетов предусматривает использование современных моделей аэрозоля и облаков, результатов наземных, спутниковых и самолетных измерений, а также – при необходимости – комбинацию модельных и экспериментальных данных.

Работа выполнена в рамках госзадания (проект № АААА-А17-117021310142-5).

ИСКАЖАЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЯ И ОБЛАКОВ НА ИЗМЕРЯЕМЫЕ SENTINEL-2А ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

К.М. Фирсов¹, Т.Ю. Чеснокова², А.А. Размоллов¹

¹*Волгоградский государственный университет, Россия*

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

В настоящее время атмосферная коррекция не всегда обеспечивает высокое качество спутниковых снимков. Ключевой проблемой здесь является замутнение атмосферы, обусловленное поглощением водяным паром, озоном, а также аэрозольное и молекулярное рассеяние. Разработана радиационная модель для региона Нижнего Поволжья, позволяющая проводить расчеты переноса излучения в безоблачной и облачной среде и рассчитывать интенсивность излучения, регистрируемую сенсорами, установленными на спутниках. В работе рассчитаны коэффициенты спектральной яркости поверхности и приведены оценки погрешности коэффициентов спектральной яркости поверхности для типичных оптико-метеорологических условий региона Нижнего Поволжья. Модель аэрозоля формировалась на основе данных, полученных со спутников Terra, Aqua и наземных измерений, проводимых солнечным фотометром SP_m в регионе Нижнего Поволжья.

Аэрозольная оптическая толщина на длине волны варьировалась от 0,111 до 0,528, что позволяло описывать различную степень замутненности атмосферы, характерную для региона г. Волгограда. Облачность моделировалась согласно данным MODIS и задавалась параметрами: расположение облаков на высоте 6–8 км, с эффективным диаметром частиц $D_{eff} = 50$ мкм, $IWC = 0,001–0,01$ г/м³, оптическая толщина облаков $\tau_{cloud} = 0,1–1$. Для того, чтобы исследовать влияние аэрозоля на NDVI индекс, альbedo поверхности характеризовалось величинами: $A = 0; 0,02; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$ (665 нм) и $A = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ (865 нм). В результате проведенных расчетов были получены количественные оценки влияния аэрозоля и облаков на величину коэффициента спектральной яркости.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОБЫТИЙ НУКЛЕАЦИОННЫХ ВСПЛЕСКОВ ДЛЯ РАЙОНА ОБСЕРВАТОРИИ «ФОНОВОЙ» ИОА СО РАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ WRF-Chem

П.Н. Антохин, О.Ю. Антохина, М.А. Аршинов, Б.Д. Белан

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

Атмосферный аэрозоль оказывает влияние на радиационный баланс атмосферы и климат Земли посредством прямого и косвенного эффектов. Кроме того, повышенная концентрация аэрозольных частиц в воздухе, в особенности нуклеационной моды, оказывает негативное влияние на здоровье человека, ухудшая респираторные и сердечно-сосудистые функции организма. Поэтому важно проводить непрерывный мониторинг концентрации и распределения аэрозольных частиц по размерам, а также иметь инструмент для их прогнозирования. Целью данной работы является численное исследование нуклеационных всплесков, зафиксированных на территории обсерватории Фоновая ИОА СО РАН с использованием модели WRF-Chem.

Для решения поставленной задачи в работе был проведен ряд численных экспериментов для апреля 2013 г. В качестве аэрозольного механизма использовался MADE/SOGRAM (VBS). Данный подход позволяет получить счетную концентрацию аэрозоля отдельно для диапазонов моды Айткена и аккумуляционной фракции, а также грубодисперсных частиц. Кроме того он позволяет провести численные эксперименты по образованию вторичного органического аэрозоля.

В результате проведенного численного исследования и верификации полученных результатов с данными наземных наблюдений показано, что модель качественно воспроизводит временной ход нуклеационной моды, а события нуклеационных всплесков с незначительным сдвигом по времени. Количественное сравнение показывает, что модель выдает завышенные значения счетной концентрации для нуклеационной моды. Причины расхождений будут подробно проанализированы в дальнейших работах.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 19-05-50024, 18-45-700020 p_a). Поддержка используемого оборудования для измерения газового состава осуществляется в рамках госзадания по проекту П.10.3 (номер госрегистрации № АААА-А17-117021310142-5).

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ И МОДЕЛЕЙ КONTИНУУМА ВОДЯНОГО ПАРА НА АТМОСФЕРНОЕ ПРОПУСКАНИЕ В ОКНЕ ПРОЗРАЧНОСТИ 8–12 мкм

Ю.В. Воронина¹, Т.Ю. Чеснокова¹, Б.А. Воронин¹, С.Н. Юрченко²

*¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
²Department of Physics & Astronomy University College, London
yulia@iao.ru, ches@iao.ru, vba@iao.ru, s.yurchenko@ucl.ac.uk*

Исследуется вклад многочисленных новых линий поглощения водяного пара в атмосферное пропускание в окне прозрачности 8–12 мкм. Проведены расчеты атмосферного пропускания с различными спектроскопическими базами данных по линиям поглощения водяного пара (HITRAN, GEISA и UCL08), а также рассматривались линии водяного пара из нового теоретического банка данных по линиям поглощения H₂O POKAZATEL [1] и из расчетов VoTe [2]. Особенностью нового расчета POKAZATEL является то, что он не имеет обрезки по интенсивности и квантовым числам. В расчете присутствуют все переходы, образованные между всеми теоретически возможными уровнями энергии вплоть до диссоциации. Рассматриваются протяженные атмосферные трассы, которые возможны при зондировании Земли и атмосферы из космоса, и на которых могут оказывать влияние многочисленные слабые линии водяного пара, обычно не учитываемые в расчетах. Также представлены результаты сравнения атмосферного пропускания, вычисленного с различными моделями континуума водяного пара.

1. URL: www.exomol.com

2. Voronin B.A., Tennyson J., Lodi L., Kozodoev A.V. The VoTe Room Temperature H₂¹⁶O Line List up to 25000 cm⁻¹ // Opt. Spectrosc. 2020. Iss. 2B. P. 194.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ОПЕРАТОРОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА И ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИМЕСЕЙ

А.В. Пененко^{1,2}, А.В. Гочаков³, П.Н. Антохин⁴

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*

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

Изучается задача идентификации источников выбросов и реконструкции полей загрязнений для модели переноса и трансформации атмосферных примесей в городских условиях. Рассматриваются данные как контактных измерений, так и данные измерений дистанционного зондирования. Реконструкция полей загрязнений осуществляется за счет оценки функции источников математической модели. Изучается возможность восстановления параметров источников примесей алгоритмами на основе ансамблей решений сопряженных уравнений и операторов чувствительности [1]. На основе анализа оператора чувствительности, оценивается область наблюдаемости системы мониторинга, а также эффективность последующего решения обратной задачи для типичных городских источников. Эффективность алгоритмов изучается численно на основе сценариев оценки качества атмосферы в городских условиях с использованием доступной априорной информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской обл. № 19-47-540011 (в части разработки и исследования городских сценариев обратного моделирования) и РФФИ № 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. Mechan. Technic. Phys. 2019. V. 60. P. 392–399.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА И ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

В.А. Перминов

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

Лесные пожары – очень сложное явление. В настоящее время пожарные службы, с определенной точностью, могут прогнозировать степень опасности или конкретные климатические условия, при которых возможно возникновение лесных пожаров. Для успешной борьбы с лесными пожарами необходимо учитывать взаимное влияние различных факторов для прогнозировать их возникновения, поведения и распространения. Целью настоящей работы является изучение поведения верховых лесных пожаров с учетом взаимного влияния верховых лесных пожаров и приземного слоя атмосферы. Исследование проводится с использованием численного моделирования. Сопряженная математическая модель построена с использованием законов сохранения энергии, массы и импульса и сводится к решению уравнений Рейнольдса для турбулентного течения как в пологом леса, так и в приземном слое атмосферы. Как правило верховые лесные пожары возникают в результате зажигания крон деревьев от очагов низовых лесных пожаров. В дальнейшем под воздействием ветра пламя распространяется по пологу леса. На данный процесс существенное влияние оказывает состояние приземного слоя атмосферы. С другой стороны, большие площади, охваченные горением, оказывают существенное влияние на состояние гидродинамики течения в атмосфере и ее загрязнение продуктами горения, в частности парниковыми газами.

ПАРАМЕТРЫ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ДАННЫМ МЕЗОМАСШТАБНОЙ СЕТИ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

О.Г. Хуторова, В.Е. Хуторов, Г.Е. Корчагин

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

Представлены пространственные характеристики волновых процессов по данным зондирования тропосферы радиосигналами ГНСС в пространственно разнесенных пунктах. Показано, что на мезомасштабной сети станций с помощью анализа фазового вейвлет-спектра зенитной тропосферной задержки радиоволн возможно выделять квазипериодические синоптические вариации зенитной тропосферной задержки радиоволн, исследовать их временные и горизонтальные масштабы, фазовые скорости. Методика апробирована на сети приемников ГНСС в Республике Татарстан, получены эмпирические распределения пространственных параметров когерентных в пространстве возмущений с горизонтальными масштабами до 8000 км, имеющие фазовые скорости в основном до 15 км/ч.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ РЕЧНОГО СТОКА В БАССЕЙНЕ р. ЛЕНЫ

А.И. Крылова¹, Н.А. Лаптева²

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

²*ФБУН ГНЦ ВВ «Вектор» Роспотребнадзора, пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия
alla@climate.sccc.ru*

Исследована возможность воспроизводить гидрографы стока бассейна р. Лены на основе новой версии линейной климатической модели речного стока, учитывая разные типы многолетнемерзлых почвогрунтов бассейна (сплошная, прерывистая мерзлота). Приведены результаты моделирования, полученные с использованием глобальной базы реанализа MERRA. Проведено сравнение модельного гидрографа стока с данными наблюдений на стокowych станциях Табага, Верхоянский перевоз, Кюсюр.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-05-00241) и госзадания ИВМиМГ СО РАН (проект № 0315-2019-0004).

ИНДЕКС КАЧЕСТВА ВОЗДУХА КАК СРЕДСТВО ИНФОРМИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ О КАЧЕСТВЕ ВОЗДУХА

И.Н. Кузнецова¹, Ю.В. Ткачева¹, И.Ю. Шалыгина¹, Е.А. Лезина²

¹*Гидрометцентр России, г. Москва, Россия*

²*Мосэкомониторинг, г. Москва, Россия
labmuza@mail.ru*

Обсуждаются способы расчета широко применяемого за рубежом индекса качества воздуха (ИКВ), используемого в Приложениях в социальных сетях уже и для российских городов, где проводятся автоматизированные измерения концентраций загрязняющих веществ. Привлекательность ИКВ для пользователей состоит в упрощенном отображении загрязнения воздуха в виде ИКВ в 5–6 категориях качества: от «очень хорошее» до «очень плохое», которые определяются количественными расчетами. Расчет ИКВ в США, Индии, Израиле, Великобритании, Франции, Германии, Норвегии, Финляндии, а также в целом в Европейском Союзе (ЕС) основаны на применении национальных гигиенических стандартов, имеются значительные различия в подходах при установлении границ классов качества. Учитывая зарубежные подходы при градуировке классов ИКВ, предложен экспериментальный способ расчета почасового ИКВ с использованием российских стандартов (ИКВ-Р). На репрезентативной выборке выполнены сравнения расчетов ИКВ-Р и ИКВ по алгоритму ЕС; обнаружено, что ИКВ-ЕС оценивает качество воздуха «строже» экспериментального ИКВ-Р, что объясняется смещением фокуса опасности в схеме ЕС на содержание мелкодисперсных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$. Знание специфических особенностей схем расчета ИКВ полезно при интерпретации сетевых Приложений; учитывая, что PM_{10} и $PM_{2.5}$ измеряются лишь в единичных городах страны, важно понимать, что сообщения об ухудшении качества воздуха

из-за этих компонентов, могут существенным образом отличаться от реального содержания в воздухе этих частиц. Для предупреждения конфликта расчетов ИКВ разными способами, целесообразно согласовать с заинтересованными организациями алгоритм национального ИКВ как современного средства динамического информирования населения о качестве воздуха.

ЭЛЕКТРОННО-КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ОЛИГО(9,9-ДИМЕТИЛФЛУОРЕНОВ)

Д.А. Сунчугашев¹, Р.Р. Валиев^{1,2}, Р.М. Гадиров¹, Р.Т. Насибуллин¹, В.Н. Черепанов¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Университет Хельсинки, Финляндия

7runestone7@mail.ru

Интерес к источникам излучения для исследования атмосферных процессов, а также оптических свойств аэрозоля остается актуальным. Изучение структур молекул олиго(9,9-диметилфлуоренов) были проведены методом функционала плотности (DFT/B3LYP/6-31G(d,p)). Критерием того, что найденные геометрии имели равновесную структуру, являлось отсутствие при оптимизации мнимых колебательных частот. При этом данные молекулы в основном электронном состоянии имеют неплоскую структуру. Торсионные углы между мономерными флуореновыми звеньями имеют величину 36° , что нарушает сопряжение между фрагментами. При этом в S_1 состоянии молекулы олиго(9,9-диметилфлуоренов) являются практически плоскими.

В результате квантовохимических расчетов было выяснено, что молекулы олиго(9,9-диметилфлуоренов) демонстрируют ярко выраженную вибронную структуру в спектрах излучения и слабую вибронную структуру в спектрах поглощения. Моделирование вибронных спектров показало, что положение полос вибронных спектров согласуется с экспериментальными спектрами [1]. Определены колебательные промотирующие моды, формирующие вибронную прогрессию в полосе излучения. Сделано предположение, что замена атомов, ответственных за колебание, формирующее вибронную прогрессию, будет существенно изменять форму спектральных полос поглощения и излучения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта (грант № 20-32-90110).

1. *Jo J., Chi C. et. al. // Chem. Eur. J. 2004. V. 10. P. 2681–2688.*

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА ЧЕРНЫМ УГЛЕРОДОМ В РАЙОНЕ о. ВРАНГЕЛЯ: ИСТОЧНИКИ И ВКЛАДЫ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРАЗИИ И АМЕРИКИ

А.А. Виноградова, А.В. Васильева, Ю.А. Иванова

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

anvinograd@yandex.ru

Проведен анализ дальнего атмосферного переноса черного углерода (black carbon – BC) в район острова Врангеля летом (июнь – август) 2015–2017 гг. Расчет распространения воздушных масс к пункту наблюдений осуществлялся с помощью модели HYSPLIT на сайте (www.ready.arl.noaa.gov). Оценка атмосферного переноса BC проводилась по упрощенной модели дальнего переноса примеси на субмикронных частицах, рассмотренной в [1]. Информация о пространственном расположении антропогенных источников BC и природных пожаров, а также об их эмиссиях получена с сайтов (<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=431>) и (<http://www.globalfiredata.org>), соответственно. Проведено сравнение мощностей и межгодовых вариаций антропогенных и пожарных эмиссий на северо-востоке Евразии и на северо-западе Северной Америки. Оценена эффективность атмосферного переноса BC от этих источников, сравниваются соотношения вкладов рассматриваемых территорий Евразии и Америки в концентрацию BC в приземном воздухе самой восточной части Российской Арктики.

1. *Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13, № 4. С. 5–20.*

АЭРОЗОЛЬ И КЛИМАТ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА КОНВЕКТИВНЫХ ОСАДКОВ НАД ЕВРАЗИЙСКИМ МАТЕРИКОМ ПО ДАННЫМ ERA-Interim ЗА ПЕРИОД 1979–2018 гг.

М.С. Васильев^{1,2}, О.В. Мордосова²

¹*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН – обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», Россия*

²*ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Якутск, Россия
m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru*

Рассматривается пространственно-временная динамика конвективных осадков над Евразийским материком по данным реанализа ERA-Interim за период 1979–2018 гг. Рассматривались данные реанализа ERA-Interim с широтно-долготным разрешением $0,125^\circ \times 0,125^\circ$. По аналогии с работой [1] проанализирована связь конвективных осадков с элементами общей циркуляции атмосферы (Североатлантическое колебание, Арктическое колебание, Северо-Тихоокеанское колебание и Эль-Ниньо – Южное колебание) и квазидвухлетними колебаниями (КДК) зонального ветра в экваториальной стратосфере. Информация о средних значениях (зап. фаза – отрицательные значения, вост. фаза – положительные) индекса КДК (QBO – quasi-biennial oscillation) на уровне 30 Мбар получена по данным NOAA/ESRL PSD.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ бюджетной темы П.16.1.7. 0375-2018-0004 (номер государственной регистрации № АААА-А17-117021450054-8).

1. *Васильев М.С., Николашкин С.В., Боровев Р.Н.* Связь интегрального влагосодержания атмосферы с элементами общей циркуляции атмосферы над Евразийским материком за период 1979–2015 гг. // *Вестн. СВФУ.* 2019. № 1(69). С. 42–49.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕЙ СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ И ОСАДКОВ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ 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*

Облачность и осадки относятся к числу наиболее изменчивых во времени и в пространстве элементов климата, поэтому возникает необходимость постоянной переоценки их характеристик по новейшим данным, как на глобальном, так и на региональном уровнях.

В работе по данным 50-летних (1969–2018 гг.) 8-срочных наблюдений 62 метеорологических станций (<http://www.ncdc.noaa.gov/>) исследуется режим нижней слоистообразной облачности (Sc, St, Ns) и количества осадков над территорией Сибирского региона. Проведено исследование среднесезонных значений количества слоистообразных облаков нижнего яруса, рассчитанных для четырех сезонов (зима, весна, лето и осень), а также среднесезонных и среднегодовых сумм количества осадков.

Показано, что для поля нижней облачности характерна зависимость от сезона: во все сезоны, за исключением лета, максимум количества облаков отмечается над Западной Сибирью, минимум – над Восточной, при этом количество облачности убывает с северо-запада в юго-восточном направлении; летом максимум наблюдается на севере Сибирского региона и количество нижней облачности убывает в южном направлении. Для поля осадков также характерна зависимость от сезона, при этом во все сезоны суммарное количество осадков над территорией Западной Сибири существенно выше, чем над Восточной. Поле осадков хорошо согласуется с пространственным распределением по территории слоистообразных облаков нижнего яруса во все сезоны, кроме летнего, когда наблюдаются осадки еще и из кучево-дождевой облачности.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НИЖНЕЙ СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ И ОСАДКОВ 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

Облачность и атмосферные осадки, как наиболее изменчивые во времени и в пространстве климатические характеристики, претерпевают долговременные колебания, с чем связана постоянная переоценка тенденций их изменения с учетом современных данных.

В настоящей работе проведено исследование особенностей долговременных изменений количества нижней слоистообразной облачности (Sc, St, Ns) и количества осадков над территорией Сибирского региона. В качестве основного исходного материала использованы многолетние данные 8-срочных наблюдений 62 метеорологических станций Сибирского региона за последние 50 лет (1969–2018 гг.) (<http://www.ncdc/noaa.gov>). При этом для статистического анализа особенностей долговременных изменений количества облаков нижнего яруса и суммарного количества осадков были использованы кривые межгодового хода, а также линейные тренды долговременного изменения среднесезонных и среднегодовых значений указанных характеристик и величины их интенсивности (баллы/10 лет, мм/10 лет соответственно).

ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОГО ФОРСИНГА ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ В УСЛОВИЯХ ДЫМНОЙ МГЛЫ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ НА ОСНОВЕ РАДИАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЗНС ИФА РАН

И.А. Горчакова¹, И.И. Мохов^{1,2}

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова, г. Москва, Россия*
²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия*
Gorchakova@ifaran.ru

Получены оценки аэрозольного радиационного форсинга на верхней и нижней границах безоблачной атмосферы для всего спектрального диапазона на основе радиационных измерений радиационных на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ЗНС ИФА РАН). В том числе сделаны оценки для условий сильного задымления атмосферы летом 2010 г. с оптической толщиной атмосферного аэрозоля на длине волны 550 нм до 4,0 при альбедо однократного рассеяния аэрозоля в пределах от 0,95–0,97 и факторе асимметрии в диапазоне 0,69–0,77. Высота верхней границы дымового слоя определялась с использованием нефелометрических измерений на ЗНС ИФА РАН. Наряду с количественными оценками коротковолнового и длинноволнового аэрозольного радиационного форсинга и скорости изменения температуры приповерхностного слоя аэрозоля при экстремальном задымлении атмосферы сделаны оценки степенной зависимости аэрозольного радиационного форсинга у поверхности и на верхней границе атмосферы от оптической толщины аэрозоля.

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ТРАССЕР ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ, ПО ДАННЫМ НА о. БЕЛЫЙ

О.Б. Поповичева¹, В.О. Кобелев²

¹*НИИ Ядерной физики им. Д.В. Скобельцина МГУ, г. Москва, Россия*
²*Научный Центр изучения Арктики, г. Салехард, Россия*
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. Предлагаются исследования характеристик аэрозоля как трассера техногенных эмиссий, степени аэрозольного загрязнения атмосферы Российской Арктики. Новая исследовательская аэрозольная

станция впервые установлена на о. Белый в Карском море [1], расположена на пути переноса воздушных масс в Арктику из районов Северной Сибири с высокой индустриальной активностью. Созданная станция предназначена для измерения концентрации климатического трассера – черного углерода и отбора аэрозолей для физико-химического анализа состава чистой фоновой и загрязненной атмосферы. Проведенные годовые (2019–2020 гг.) непрерывные измерения позволили впервые определить степень нагрузки арктической атмосферы черным углеродом, определить фоновые концентрации и вклад сжигания ископаемого топлива, природного газа и природных пожаров в состав атмосферы Арктики. Определена тенденция сезонной изменчивости в период арктической дымки, демонстрирующая наибольший вклад антропогенных источников загрязнений на экосистему Арктики.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-0560084).

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

ДЕФОРМАЦИЯ ТЕЛА ЯРКОСТИ РАССЕИВАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Б.В. Горячев

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

Предложена методика определения деформации тела яркости рассеивающего объема с помощью коэффициентов асимметрии, введенных в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Каждый коэффициент учитывает потоки излучения, распространяющиеся вдоль осей декартовой системы координат. Такие потоки излучения определяются интегральными параметрами индикатрисы рассеяния, которые в общем случае разные. Найдена аналитическая связь между коэффициентами асимметрии тела яркости и интегральными параметрами индикатрисы рассеяния излучения. Проведен анализ зависимости формы тела яркости от величины интегральных параметров индикатрисы рассеяния для разных оптических размеров и микроструктуры дисперсной среды.

МОНИТОРИНГ АЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В СФЕРЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА

В.В. Коковкин^{1,2}, В.Ф. Рапуга^{2,3}

¹*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный университет, Россия*

³*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
basil@niic.nsc.ru*

Обсуждаются результаты многолетних полевых и химико-аналитических исследований аэрозольного загрязнения снежного покрова в сфере влияния атмосферных выбросов цементного завода, расположенного в г. Искитим Новосибирской обл. С учетом зимней розы ветров маршрутный отбор проб снега проводился в интервале расстояний 0,5–6 км. Пробы анализировали после доставки в лабораторию по схемам в зависимости от природы определяемых компонентов. Так, неорганические компоненты определяли после фильтрования. В фильтрате проводили анализ на элементный состав, включая Mn, Pb, As, Ca, Mg, K; ионный состав: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- и др. компоненты. В осадке определяли основной элементный состав. В работе были использованы методы капиллярного электрофореза, ИСП-АЭС, кондуктометрии, рН-метрии.

Численный анализ полученных данных мониторинга проводился с использованием моделей реконструкции полей легкой и полидисперсной аэрозольной примеси от приподнятых источников. В качестве основных ограничений использовались различные асимптотики решений полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии. Дополнительно для анализа связей между основными анионами и катионами использовалось уравнение ионного баланса. Выявлен ряд пространственных закономерностей аэрозольных выпадений примесей относительно источников завода. На их основе получены оценки суммарных выбросов взвешенных веществ в рассматриваемых зимних сезонах.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004), финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской обл. в рамках научного проекта № 19-47-540008.

СВЯЗЬ ОТКЛИКА БЕТА-ФОНА ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ

И.В. Беляева¹, Г.А. Яковлев², К.Н. Пустовалов^{2,3}, П.М. Нагорский³, С.В. Смирнов³,
В.А. Корольков³, А.А. Кобзев³, А.С. Зелинский⁴, В.С. Яковлева⁴

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

⁴Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

asdf75@bk.ru

Известно, что радиационный фон приповерхностного слоя атмосферы не является постоянной величиной, а изменяется с течением времени. На величину этих колебаний влияет совокупность ряда метеорологических параметров, таких как время года, состояние атмосферы (влажность, температура, давление), почвы (влажность, температура), географическое положение региона. Обнаружено, что большинство аномальных всплесков радиационного фона наблюдается при выпадении атмосферных осадков. Это явление можно объяснить процессами вымывания осадками короткоживущих дочерних продуктов распада радона и торона из атмосферы.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния количества и интенсивности атмосферных ливневых осадков на формирование β -фона в поверхностном слое атмосферы. Показано, что β -фон является чувствительным индикатором ливневых осадков. Экспериментально установлено, что увеличение плотности потока β -излучения совпадает с периодами выпадения ливневых осадков, и коррелирует с текущим значением количества осадков. По форме отклика β -фона можно определять начало и конец выпадения ливневых осадков. Производная от отфильтрованной плотности потока β -излучения по времени коррелирует с интенсивностью ливневых осадков.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНОМАЛИЙ ГАММА-ФОНА В ПЕРИОДЫ ОСАДКОВ ПО ДАННЫМ ОПТИОС И Davis Rain Collector II

Г.А. Яковлев¹, С.В. Смирнов², А.А. Кобзев², В.А. Корольков², В.С. Яковлева³

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

yakovlev-grisha@mail.ru

Попытки найти взаимосвязь между интенсивностью осадков и величиной всплесков мощности дозы γ -излучения предпринимались ранее, но безуспешно. Возможно, это связано с недостаточно высоким временным разрешением данных радиационного мониторинга, или с тем, что вымывающая способность осадков зависит от их интенсивности. Для моделирования отклика гамма-фона требуется знание вымывающей способности осадками радиоактивных аэрозолей с размерами начиная от 10^{-12} м.

Для исследования аномалий гамма-фона во время выпадения жидких атмосферных осадков были разработаны математические модели: а) динамики радона дочерних продуктов распада в атмосфере; б) динамики активности дочерних продуктов распада радона, осаждаемых на земную поверхность. Также были произведены расчеты дозовых коэффициентов для ^{214}Pb и ^{214}Bi с помощью среды GEANT4 на разных высотах от земной поверхности для геометрии дискового источника радиусом 500 м, с учетом нижнего порога регистрации γ -излучения детекторами БДКГ-03 (которые были использованы в эксперименте), равного 50 кэВ. Был использован встроенный в GEANT4 стандартный набор физических процессов QGSP_BIC_HP с некоторой модификацией под задачу данного исследования, аналогично примеру «extended/radioactivedecay/rdecay02» из библиотеки GEANT4.

Моделирование аномальных всплесков гамма-фона (мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения) во время выпадения жидких атмосферных осадков производили с использованием измеренных данных о плотности потока радона с поверхности грунта (разработка ТПУ), и измеренным челночным Davis Rain Collector II (Davis Instruments, США) и оптическим ОПТИОС (разработка ИМКЭС СО РАН) осадкомерами данным об интенсивности осадков. Сравнение измеренных и расчетных данных о гамма-фоне позволило выявить некоторые закономерности. Было получено, что коэффициент захвата аэрозолей каплями дождя сильно зависит от интенсивности осадков и размера капель.

IMPACT OF RADON AND THORON FROM BUILDING INTO THE TOTAL LEVEL IN URBAN ATMOSPHERE

P. Mac-Donald¹, K. Abdullina¹, G.A. Yakovlev², V.S. Yakovleva¹

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Tomsk State University, Tomsk, Russia

macdonald@tpu.ru

Thoron and radon exhalation from earth's crust is the most important source of atmospheric radioactive gases, along with its daughter products present in the soil is one of the major contributors to the external gamma dose in the atmosphere, since its distribution in the earth's crust is important for controlling the production of ²²⁰Rn and ²²²Rn. In this study trace amount of ²³²Th, ²³⁸U permeate almost all soils and rocks, in part due to the influence of buildings from which radioactive gas can emanate over geological time scales. Results obtained from this study indicate that the region has background radioactivity levels within the natural limits and a detailed discussion of the results is presented in the work.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИНДЕКСА ВЕГЕТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Н. Воропай^{1,2}, А.А. Рязанова¹, Е.А. Дюкарев¹

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

²Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

voropay_nn@mail.ru

В условиях современных изменений климата все больший интерес у исследователей вызывает вопрос выявления произошедших экстремальных природных явлений с помощью различных количественных показателей. К числу наиболее опасных процессов относят экстремальные засухи и периоды переувлажнения. Основным индикатором засушливости/переувлажнения является состояние растительности. Оценка межгодовой и внутрисезонной изменчивости этого состояния была проведена по показателям растительности, полученным из данных спутниковых изображений MODIS. В работе оценено состояние растительного покрова (ниже нормы или стрессовое, близкое к норме, выше нормы) в разных ландшафтах Томской области с помощью индекса вегетационных условий VCI за период 2000–2017 гг. Наиболее чувствительными к смене гидротермических условий от года к году являются пойменные луга, болотные угодья и пашни, что подтверждается значимыми коэффициентами корреляции между гидротермическими и вегетационными индексами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-45-700015).

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ БОРЕАЛЬНОГО ЛЕСА НА ОБЛАЧНОСТЬ И ОСАДКИ НА ОСНОВЕ АТМОСФЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

М. Рэти¹, Х. Кескинен², П. Аалто¹, Л. Согачева³, К. Табакова¹, В.-М. Керминен¹,
М. Кулмала¹, Т. Петайя¹, Е. Ежова¹

¹University of Helsinki, Helsinki, Finland

²Tampere University, Tampere, Finland

³Finnish Meteorological Institut, Helsinki, Finland

ekaterina.ezhova@helsinki.fi

Роль леса для формирования осадков изучается достаточно давно. Бореальный лес участвует в процессе образования и роста вторичного аэрозоля за счет эмиссии летучих органических соединений. Лес является источником водяного пара в атмосфере, выделяя его в процессе транспирации. Наконец, неоднородность подстилающей поверхности приводит к более активным процессам турбулентного обмена, что является важным фактором для образования облаков и формирования осадков. В настоящей работе мы рассматриваем влияние леса на облачность и осадки на основе анализа данных атмосферных наблюдений на станции SMEAP 2, Финляндия.

Предполагается, что при движении над лесом воздушная масса способна аккумулировать аэрозоль и водяной пар, что может приводить к интенсификации процессов образования облаков и осадков.

Показано, что температура воздуха растет с увеличением времени движения воздушных частиц над континентом. Относительная влажность практически не меняется, но абсолютная влажность растет, в соответствии с тем, что воздушная масса способна удерживать больше водяного пара при более высоких температурах. Также растет средний размер аэрозольной частицы, и доля частиц в популяции аэрозоля, способных выступать в качестве ядер конденсации облаков. Доля облачности снижается, при этом медианная и средняя оптическая толщина облака отличаются. Это может указывать на развитие конвективной облачности. Содержание водяного пара в облаке является ведущим параметром, определяющим оптическую толщину облака и радиационный эффект, в то время как количество ядер конденсации вторично. С ростом времени взаимодействия леса и воздушной массы, осадки становятся более обильными.

АНТРОПОГЕННЫЙ АЭРОЗОЛЬ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АНТРОПОГЕННОГО АЭРОЗОЛЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

В.А. Хан^{1,2}, В.Ф. Мышкин², Д.М. Хорохорин², И.Ю. Зыков², С.Ф. Баландин¹, И.В. Туксов²,
Ц. Ван², А.В. Лукин², К.Т. Шикерун^{2,3}

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

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

³ООО «РусАТ», г. Москва, Россия
caylun1224@gmail.com

При лазерном нагреве или испарении формируются нанодисперсные частицы, формирующих в атмосферном воздухе достаточно устойчивую взвесь. Как правило, этот биологически активный аэрозоль плохо улавливается на фильтрах и выбрасывается в атмосферу. Задача исследований – поиск методов увеличения размеров образующихся из паров дисперсных частиц.

Исследовали дисперсные частицы, образующихся из паров Al_2O_3 и Zr_2O_3 в постоянном магнитном поле. Полученные данные показывают, что изменение размеров дисперсных частиц слабо зависят от величины магнитного поля, варьируемого в диапазоне 10–90 мТл.

Из-за малых размеров облака пара при лазерном испарении не представляется возможным действие магнитного поля на процесс роста дисперсных частиц. Время фазового перехода при испарении лазерными импульсами сравнимо с временами синглет-триплетных переходов при росте дисперсных частиц. Влияние магнитного поля может быть связано с тем, что поле увеличивает скорость формирования ядер конденсации в облаке пара. Поэтому пар быстрее превращается в облако более мелких дисперсных частиц и эффект экранирования лазерного пучка уменьшается.

В докладе приводятся экспериментальные данные, получаемые в магнитном поле и без поля, а также обсуждается математическая модель, описывающая формирование ядер конденсации в слабом магнитном поле. В феноменологической модели процесса конденсации пара учитывается возможность термодиссоциации и оценивается время формирования молекул Al_2O_3 и Zr_2O_3 из атомов.

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО БАЙКАЛА В 2019 г.

О.Г. Нецветаева, Н.А. Онищук, Л.П. Голобокова, Е.В. Моложникова,
В.В. Носова, Н.В. Башенхаева, И.Н. Лопатина

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия
r431@lin.irk.ru

Работа является продолжением многолетних исследований химического состава снежного покрова в регионе оз. Байкал. В 2019 г. изучался снежный покров в районе Среднего и Южного Байкала с целью оценки современного состояния воздушного бассейна. На Среднем Байкале пробы отбирались в дельтах р. Селенга и Баргузин и со льда Байкала. На Южном Байкале снегосъемки проводились на юго-восточном побережье (в бассейне притоков Байкала и на территории Байкальского государственного заповедника) и на юго-западном побережье (в пос. Листвянка, на побережье притоков, впадающих в Лиственничный залив). Проведено районирование изучаемой территории по уровню накопления химических компонентов в снежном покрове. Аккумуляция гидрокарбонатов, сульфатов, кальция, натрия, хрома, стронция, олова и суммы ионов максимальна в снежном покрове дельты р. Селенги благодаря высоким концентрациям этих ионов. Накопление биогенных компонентов, органического углерода, ионов водорода и калия наиболее высоко в заповеднике за счет максимального влагозапаса в снеге (в 3–6 раз выше, чем на остальной территории). Накопление Al и таких тяжелых металлов как Co, Cd, Ba, Pb, W максимально на юго-восточном побережье. В снежном покрове пос. Листвянка

более всего аккумулируется Ве, В, V, Mn, Ni, Cu, Zn. Минимальное количество большинства определяемых элементов накапливается на территории Байкальского заповедника.

Работа выполнена при поддержке госзадания ЛИН СО РАН № 0345–2020–0008, гранта РФФИ № 20-45-380024 р/а.

ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА И ДОЛГОПЕРИОДНЫХ СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖЕВОГО АЭРОЗОЛЯ В МОСКВЕ

В.М. Копейкин¹, Т.Я. Пономарева²

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

²*Гидрометцентр России, г. Москва, Россия*
kopeikin@ifaran.ru

Исследована сезонная изменчивость метеорологических параметров приземного воздуха и содержания сажевого аэрозоля в дневное время в Москве в период 1989–2019 гг. Измерение сажевого аэрозоля проведены в центре города на территории ИФА РАН. Исходные данные метеорологических параметров – температуры воздуха, атмосферного давления и скорости ветра получены на метеостанции ВДНХ [1, 2.]. Высокие средние за 31 летний период скорости ветра получены в зимне-весенний период и низкие в летне-осенний период. Определен тренд средних за сезон скоростей ветра, он отрицательный, максимальный зимой и минимальный осенью. Тренд средних температур воздуха в 1989–2019 гг. для всех сезонов положительный. Зависимость концентрации сажевого аэрозоля от температуры воздуха в зимний и осенний сезоны одинакова. Летом, после исключения месяцев с дымами от лесных и травяных пожаров $R^2 = 0,40$. Весной корреляция отсутствует ($R^2 = 0,09$). Значимая корреляция средней концентрации сажевого аэрозоля со средней сезонной скоростью ветра не наблюдалась. Проведен анализ метеорологических параметров соответствующих высоким разовым концентрациям сажевого аэрозоля в разные сезоны.

Работа выполнена в рамках госзадания (проект № 0129-2019-0002), а так же при поддержке грантов РФФИ: № 13-05-00956, 16-05-0985.

1. URL: <https://rp5.ru/>

2. URL: <http://pogoda-servict.ru>

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГОРОДОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ

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

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

Изучение элементного состава снежного покрова проведено в трех городах Прибайкалья с высоким индексом загрязнения атмосферы: Ангарск, Иркутск и Шелехов. В ходе исследований установлено, что химический состав снежного покрова в данных городах отражает состав выбросов крупных антропогенных источников загрязнения атмосферы. В г. Шелехов с алюминиевой промышленностью выявлены максимальные концентрации алюминия и фторидов, превышающие геохимический фон в 1400 раз. В Ангарске с развитой теплоэнергетикой и нефтехимической промышленностью определены повышенные концентрации бора, ванадия, марганца, железа, никеля, меди, цинка, стронция и кадмия. Превышение фона составляет от 50 до 200 раз. В снежном покрове Иркутска зарегистрированы максимальные концентрации титана, хрома, кобальта, мышьяка, селена, молибдена, бария и свинца, которые превышают фоновые концентрации в 20–300 раз. В г. Иркутске главными источниками загрязнения атмосферы являются предприятия теплоэнергетики и автотранспорт. Географическое расположение Иркутска способствует аккумуляции аэропромвыбросов г. Шелехов и городов, расположенных по долине р. Ангары, включая Ангарск, в снежном покрове Иркутска. Максимальные концентрации большинства определяемых элементов зарегистрированы в снежном покрове Ангарска. Менее всего загрязнен снежный покров в г. Шелехов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 20-45-380024 р_а и по теме государственного задания ЛИН СО РАН № 0345-2019-0008.

ГАЗООБРАЗНЫЕ ПРИМЕСИ В АТМОСФЕРЕ СТАНЦИЙ КОНТРОЛЯ АТМОСФЕРЫ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

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

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

Рассматривается изменчивость концентраций CO, NO, NO₂, H₂S, O₃, NH₃, SO₂ по обобщенным данным автоматических станций контроля атмосферы, располагающихся в 15 населенных пунктах Байкальской природной территории (БПТ). Используются ежедневные данные сайта Росгидромета о загрязнении окружающей среды в районе оз. Байкал. Проводится сравнение текущих средних суточных значений с предельно допустимыми концентрациями примесей. Данные охватывают период 2019–2020 гг. Так, например, в 2019 г. в атмосфере Иркутска в апреле средние суточные концентрации O₃ и NO₂ превышали ПДК_{с.с.} в среднем в 1,2 и 1,1 раза. В марте наблюдалось превышение O₃ в 1,4 раза. При задымлении атмосферы города вследствие лесных пожаров максимальное превышение CO составило 8 мая – 3ПДК_{с.с.}, 1 августа – 4ПДК_{с.с.}, 1 сентября – 4,5ПДК_{с.с.}. В Ангарске с 11 августа по 30 сентября 2019 г. наблюдалось превышение ПДК_{с.с.} концентраций NO₂, составившее 1,2–2,3ПДК_{с.с.} с максимумом 1–20 сентября. Наиболее высокие концентрации NO зафиксированы 11–20 августа – 1,3ПДК_{с.с.}. Высокие концентрации CO зафиксированы 4 июня – 5,2ПДК_{с.с.}, 31 июля – 3,8ПДК_{с.с.} и 1 августа 4,6ПДК_{с.с.}. Рассчитывался ИЗА. Уровень загрязнения атмосферного воздуха (по индексу ИЗА) в городах Иркутск и Ангарск оценивается как очень высокий. В докладе будут приведены данные для всех станций контроля атмосферы БПТ.

Работа выполнена при поддержке Проекта РФФ № 19-77-20058.

МОРФО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭРИТРОЦИТОВ МОЛОДИ ОЗЕРНОГО СИГА (*COREGONUS LAVARETUS* DUV.) ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МИКРОЧАСТИЦ САЖИ

В.М. Яхненко, И.В. Клименков, Н.П. Судаков, О.В. Вокин, О.Ю. Глызина,
Ю.П. Сапожникова, Т. Аvezова, Л.В. Суханова, Е.В. Лихошвай

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

Основная роль в газообмене в организме рыб принадлежит эритроцитам, содержащим кислородсвязывающий белок – гемоглобин. Изменения условий и антропогенные воздействия, в том числе попадание в водную среду микрочастиц сажи, образованных при сгорании лесов и топлива, вызывают изменения этих показателей.

Эксперимент проводился в условиях Пресноводного экспериментального комплекса. Рыбы в возрасте 1+ были выдержаны двое суток в аквариуме с добавлением в воду древесной сажи в концентрации 200 мкг/л. Выявлено нарушение процессов обмена кислорода и углекислоты и появление анодных фракций гемоглобина при низких показателях pH. Кроме того у экспериментальных рыб по сравнению с контрольными достоверно выше количество эритроцитов, кислородная емкость крови при очень низком содержании гемоглобина в эритроците. На основании полученных результатов считаем, что изменения в системе транспорта кислорода вызваны поступлением через жабры и накоплением в кровеносных сосудах частиц сажи.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-50017.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВОВАНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ СЛЕДОВ САМОЛЕТОВ НА ИХ ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПО ДАННЫМ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ЛИДАРА

И.Д. Брюханов^{1,2}, О.Ю. Локтюшин¹

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия*
plyton@mail.tsu.ru, lega.lega123@mail.ru

Всемирная метеорологическая организация определяет конденсационные следы самолетов, существующие более 10 мин, как единственный тип ледяных облаков антропогенного происхождения [1]. Вклад авиации в воздействие человека на климат оценивают в 3–8% [2], что вместе с прогнозируемым 5% ежегодным ростом авиатрафика [3, 4] обуславливает необходимость изучения следов самолетов и их влияния на климат.

Самолетные следы исследуются на высотном поляризационном лидаре НИ ТГУ с 2016 г. [5, 6]. Настоящий доклад посвящен исследованию зависимости оптических характеристик самолетных следов от времени существования на основе совместного анализа лидарных, метеорологических и траекторных данных.

Работа выполнена при поддержке Программы «Научный фонд им. Д.И. Менделеева НИ ТГУ».

1. Kärcher B. // Nat. Comm. 2018. V. 9. DOI: 10.1038/s41467-018-04068-0.
2. Bock L., Burkhardt U. // J. Geophys. Res.: Atmos. 2016. V. 121. P. 3548–3565.
3. Minnis P., Ayers J.K., Palikonda R., et al. // J. Climate. 2004. V. 17. P. 1671–1685.
4. Girens K., Vazquez-Navarro M. // Meteorologische Zeitschrift. 2018. V. 27, N 3, P. 183–193.
5. Samokhvalov I.V., Bryukhanov I.D., Zhivotenyuk I.V., et al. // Proc. SPIE. 2016. V. 10035. 1003551.
6. Самохвалов И.В., Брюханов И.Д., Локтюшин О.Ю. и др. // Оптика атмосфер. и океана. 2019. Т. 32, № 3. С. 193–201.

ЧЕРНЫЙ УГЛЕРОД В АТМОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛЯРНОГО КРУГА

В.О. Кобелев¹, О.Б. Поповичева², А.И. Синицкий¹

¹Научный Центр изучения Арктики, г. Салехард, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия
vasily.kobelev@gmail.com

Оценки экологического состояния атмосферы в регионах высокой антропогенной активности усложнены существующим недостатком знаний об источниках эмиссий, количестве и составе аэрозольных загрязнений, определяющих степень воздействия на экосистему Арктики. Исследования климатически-опасных эмиссий, ориентированные на черный углерод как наиболее экологически значимую компоненту загрязненной атмосферы, проведены на широте Северного Полярного Круга, в крупнейшем газо- и нефтедобывающем районе Сибири ЯНАО. Аэрозольный комплекс установлен в 4 км от г. Салехарда (ЯНАО) с 19 апреля по 7 августа 2019 г. Совместный анализ направления ветра и концентрации черного углерода показал сектор ССВ-ВСВ чистого воздуха на уровне $34 \text{ нг} \cdot \text{м}^{-3}$ и наиболее загрязненные направления до $180 \text{ нг} \cdot \text{м}^{-3}$ при выносе из г. Салехарда, с объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) полуострова Ямал, из Ненецкого АО и объектов ТЭК районов ЯНАО и ХМАО. В период июльских интенсивных пожаров среднемесячная концентрация увеличилась до $350 \text{ нг} \cdot \text{м}^{-3}$, с максимумом до $690 \text{ нг} \cdot \text{м}^{-3}$, показывая беспрецедентно высокие для северного Полярного круга загрязнения атмосферы. Данные измерений интегрированы с результатами траекторного анализа и модели СWT. Было выявлено расположение основных источников черного углерода: в мае основная часть поступала с п-ва Ямал и восточной части ЯНАО, в июне – с Приполярного Урала, в июле с юга за счет интенсивных пожары в ЯНАО.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-05 60 084).

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ $\text{PM}_{2,5}$ В НЕКОТОРЫХ ЕВРОПЕЙСКИХ МЕГАПОЛИСАХ

И.Н. Кузнецова¹, Н.Е. Бруслова¹, И.Ю. Шалыгина¹, Д.В. Борисов¹, Е.А. Лезина²

¹Гидрометцентр России, г. Москва, Россия

²Мосэкомониторинг, г. Москва, Россия
labmuza@mail.ru

Особое внимание к изучению загрязнения воздуха взвешенными частицами размером меньше $2,5 \text{ мкм}$ ($\text{PM}_{2,5}$) обусловлено тем, что в отличие от более крупных частиц, $\text{PM}_{2,5}$ проникают сквозь биологические барьеры, следовательно, представляют наибольшую угрозу для организма. В городском воздухе концентрация $\text{PM}_{2,5}$ обычно выше, а химический состав опаснее, чем на фоновых территориях. По нормам ВОЗ среднегодовой уровень $\text{PM}_{2,5}$ не должен превышать 10 , а среднесуточный – $25 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$. Для анализа использованы данные измерений $\text{PM}_{2,5}$ на станциях мониторинга городского и придорожного типа в Москве, Берлине, Варшаве и Афинах в 2017–2019 гг. Установлено, что среднегодовой уровень $\text{PM}_{2,5}$ в рассматриваемый период во всех мегаполисах превышал норматив ВОЗ: в Берлине и Афинах в 1,5–1,8 раза, в Варшаве почти в 2,5 раза. Осредненная за 3 года по всем станциям Москвы концентрация $\text{PM}_{2,5}$ оказалась близка к нормативу ВОЗ. Для $\text{PM}_{2,5}$ характерна значительная межгодовая изменчивость и вариации среднемесячных максимумов, обусловленные особенностями

крупномасштабных атмосферных процессов. Сезонный максимум наиболее выражен в Варшаве и Берлине, он приходится на январь – март и почти в 2 раза превышает летний уровень $PM_{2.5}$. В Москве сезонный максимум $PM_{2.5}$ наблюдается в марте – апреле ($13\text{--}15 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$). Суточный максимум в рассматриваемый период в Москве достигал $35 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ТРАССЕРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

**Е.В. Моложникова, О.Г. Нецветаева, Н.А. Онищук, М.Ю. Шиховцев,
И.Н. Доля, В.В. Носова**

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

Представлены результаты исследований химического состава снежного покрова на территории Южного Прибайкалья. Проанализированы пробы снега, отобранные вдоль трассы Иркутск Листвянка, со льда Байкала и на территории Байкальского государственного природного биосферного заповедника. Приведены данные за 2019–2020 гг. 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. Используя данные расчетов рассеивания антропогенных примесей от крупных городов-источников (HSPLIT) построены тепловые карты. Показана картина пространственного распределения антропогенных веществ от крупных промышленных центров Прибайкалья вдоль преобладающего переноса.

Анализ данных выявил, что наибольшее количество всех загрязняющих веществ содержится в снежном покрове в непосредственной близости от источников, а также в местах наиболее интенсивного движения автотранспорта. В отличие от общей загрязненности снежного покрова, которая значительно уменьшается с удалением от источников атмосферных выбросов, кислотность снежного покрова при этом, наоборот, повышается.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-45-380024 р_а. Экотоксикологическое исследование снежного покрова в городах Иркутской обл. (на примере гг. 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».

РАССЕИВАНИЕ ВЫБРОСОВ ТЭЦ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ САЖИ В г. КРАСНОЯРСКЕ

С.В. Михайлюта¹, А.А. Леженин², О.А. Коробов³, П.Г. Гудовский¹

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

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

³*Новосибирский государственный университет, Россия
mikhailuta@gmail.com*

С использованием адаптированной к условиям г. Красноярска гидродинамической модели WRF-CHEM, выполнены расчеты рассеивания выбросов ТЭЦ на территории города. Рассмотрены основные источники выбросов сажи с высотами труб от 180 до 275 м. Для характерных метеорологических режимов летнего и зимнего периодов показаны условия формирования повышенных уровней загрязнения мелкодисперсной пылью в приземном слое атмосферного воздуха. Расчетные значения концентраций сажи в воздухе санитарно-защитных зон и на территории административных районов верифицированы по данным наземных наблюдений. Результаты показывают особенности изменения концентраций на наземных станциях в зависимости от положения и ориентации факелов выбросов крупных теплоэнергетических станций. Выявлены районы с наибольшей экологической напряженностью относительно воздействия высоких выбросов на загрязнение воздуха сажей.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА ПО НАЗЕМНЫМ И СПУТНИКОВЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

В.Ф. Рапута^{1,2}, Т.В. Ярославцева², Р.А. Амикишиева¹, В.В. Коковкин^{3,4}

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

²НИИ гигиены Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия

³Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

⁴Новосибирский государственный университет, Россия

raputa@sscc.ru

В настоящее время мониторинг газовых и аэрозольных примесей в атмосфере города не позволяет оперативно устанавливать их источники в силу ограниченности экономических и технических возможностей. Вследствие этого представляется перспективным использование дополнительных способов получения экспериментальной информации с помощью природных планшетов и спутниковых наблюдений [1].

В докладе обсуждаются результаты атмосферных наблюдений, наземного и спутникового мониторинга загрязнения снежного покрова на территории г. Искитима Новосибирской обл. Выполнена оценка пространственных выпадений взвешенных веществ по территории города. Анализ зимних спутниковых снимков позволил выявить значимые очаги загрязнения снежного покрова на территориях города. К ним, в первую очередь, относятся центральная часть города с расположенными там крупными промышленными предприятиями, район поселка Ложок (асфальто-бетонный завод, мелкие угольные котельные) и окрестности крупных автомагистралей. Оцифровка спутниковых снимков позволила получить дифференцированную картину зон загрязнения в оттенках серого цвета для проведения дальнейшего количественного анализа. Анализируются связи между уровнями загрязнения снежного покрова и заболеваемостью населения города злокачественными новообразованиями.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004), финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской обл. в рамках научного проекта № 19-47-540008.

1. Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Девятова А.Ю. Сравнительная оценка состояния длительного загрязнения атмосферы и снежного покрова г. Новосибирска на сети стационарных постов Гидрометеослужбы // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 499–504.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАЗЕМНОЙ И СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Р.А. Амикишиева^{1,3}, В.Ф. Рапута^{1,2}, Т.В. Ярославцева²

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

²НИИ гигиены Роспотребнадзора, г. Новосибирск, Россия

³СЦ ФГБУ «НИЦ «Планета», г. Новосибирск, Россия

ruslana215w@mail.ru

Зимние спутниковые снимки наглядно показывают пространственную структуру полей аэрозольных выпадений примесей от источников промышленных выбросов. Совместное использование спутниковой информации с данными наземных измерений дает возможность эффективно реконструировать поле концентрации, а также получить его верхнюю и нижнюю оценку, тем самым жестко ограничив пространство решений, содержащее реальное поле загрязнений.

В докладе рассматривается методика расчета мажоранты и миноранты полей концентраций от совокупности источников. Метод базируется на решении большого набора задач линейного программирования по оценке параметров модели реконструкции процессов распространения примеси в атмосфере. На основе спутниковых снимков и данных снегового мониторинга, проведенного в конце зимнего сезона 2019–2020 гг., получены оценки полей аэрозольных выпадений примесей в окрестностях г. Искитима и Новосибирского электродного завода. Для описания поля концентрации использовалась модель легкой примеси. На основе предложенного подхода на языке Python разработана ГИС-система для численного восстановления и визуализации полей загрязнения от многих источников выбросов.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004), финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской обл. и (проект № 19-47-540008).

ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНО-ФАЗОВОГО СОСТАВА МИКРОЧАСТИЦ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА (г. СОРСК, РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

Представлены результаты исследования минерального и вещественного состава микрочастиц, осевших на снеговой покров на территории Сорского ГОКа и г. Сорска. Пробы твердой фазы снега были изучены на бинокулярном и сканирующем электронном микроскопе для определения типов природных и техногенных частиц, их морфологических свойств, а также методом рентгеновской дифрактометрии на кристаллические (минеральные) фазы. В пробах выявлены минеральные частицы, характеризующие рудные минералы (молибденит) и минералы вмещающих пород (полевые шпаты, кварц, карбонаты и др.). Эмиссия этих частиц обусловлена преимущественно буровзрывными работами на карьере, пылением с отвалов вскрышных пород и хвостохранилищ. Техногенные компоненты представлены частицами, характерными для сжигания угля на местных котельных. Частицы по размерам можно классифицировать на мелкие и средние микрочастицы. Близкое расположение объектов предприятия к городу определяет атмосферный перенос микрочастиц на его территорию.

Работа выполнена в рамках хоздоговорных работ с ООО «Сорский ГОК».

ESTIMATION OF BACKGROUND IONIZING RADIATION AND EVALUATION OF LIFE TIME CANCER RISK IN PARK AREAS OF TOMSK

M.C. Zulu, G.A. Yakovlev, E. Yeboah, N.T. Hampuwo

*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
nangomahampuwo@gmail.com*

The qualitative and quantitative assessment of radiation exposure level and doses within an environment is an important aspect of radiation protection since human exposure to natural background radiation is a continuous feature of human existence. The present study has been designed in this regard to quantitatively assess the background radiation levels in some selected parks in Tomsk and to estimate their radiological impact on the people who visit these park areas. The relevance of this research is confirmed by interest pronounced worldwide in radioactivity monitoring of background radiation. This is useful for the assessment of public safety as well as creating baseline, for easy monitoring of changes in the levels of background radiation due to human and natural activities in the environment. An *in situ* measurement of background ionizing radiation was done using a highly sensitive gamma detector BDKG-03, in six different parks. The exposure rates were used to evaluate the annual effective dose equivalent (AEDE) and excess lifetime cancer risk (ELCR) within the selected parks. The highest estimated mean excess lifetime cancer risk was $(0.33705 \pm 0.191) \cdot 10^{-2}$ which was higher than the UNSCEAR reported world average value of $0.29 \cdot 10^{-2}$. A detailed analysis and discussion of results of the study are presented in the report.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ВОЗДУХА КРАСНОЯРСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА СО РАН. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $PM_{2,5}$ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ КРАСНОЯРСКА И ЕГО ПРИГОРОДА

В.В. Заворуев, О.Э. Якубайлик

*Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск, Россия
valzav@icm.krasn.ru*

Основной задачей создания и эксплуатации системы мониторинга воздуха является формирование информационно-аналитической основы для научных исследований и разработок, направленных на решение задач улучшения экологической обстановки в г. Красноярске и его пригороде.

Измерение параметров воздушной среды осуществляется с помощью сертифицированных станций мониторинга воздуха CityAir. В четырех точках города проводится непрерывная калибровка данных концентраций $PM_{2,5}$, поступающих со станций мониторинга воздуха CityAir, относительно данных, полученных с помощью пылемеров E-BAM (фирма «Met One Instruments Inc.», США).

Анализ данных за полуторалетний период позволил выявить наиболее загрязненные районы города Красноярска. Установлены факторы, способствующие формированию высоких концентраций $PM_{2,5}$ в приземном слое атмосферы. На основе выявленных особенностей распределения поля концентраций $PM_{2,5}$ над территорией Красноярска можно говорить о возможном влиянии незамерзающей р. Енисей на распределение взвешенных частиц. Построена динамическая картина загрязнения и очистки воздушной среды города для временного интервала, который включает в себя как период неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), так и несколько дней до и после НМУ.

ПЫЛЕВАЯ НАГРУЗКА НА ТЕРРИТОРИЮ г. КЕМЕРОВО ПО ДАННЫМ СНЕГОВОЙ СЪЕМКИ

В.Д. Кирина, А.В. Таловская

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

Представлено изучение качественных характеристик атмосферного воздуха г. Кемерово на основе изучения твердой фазы снега. Отбор и подготовка проб проведены согласно нормативной методике в феврале 2016 и 2020 гг., в промышленных, селитебных и рекреационных районах города. Рассчитана пылевая нагрузка и определен элементный состав проб твердой фазы снега с помощью методов масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС), который проводился в аттестованной лаборатории ООО «ХАЦ Плазма» в г. Томск.

В районах, находящихся под влиянием промышленных предприятий, пылевая нагрузка изменяется от низкой до средней степени загрязнения и в среднем составляет $199 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$, а в селитебных и рекреационных районах пылевая нагрузка соответствует низкой степени загрязнения и среднее значение составляет $34 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут.})$. В зоне воздействия предприятий в пробах имеют наибольшее значение коэффициенты концентрации элементы: Sr, Cs, Li, Rb, As, Al, Hf, Ni, Ba, Fe, Co. Возможно поступление от использования на предприятиях угля из Кузнецкого бассейна, которые обогащены теми же элементами. Суммарный показатель загрязнения изменяется по мере отдаления в большую сторону, характеризуя в пробах твердой фазы снега легкий перенос на дальние расстояния пылевых частиц.

МЕТОД РАСЧЕТА МОЩНОСТИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ИЗБЫТОЧНОЙ РАДИОАКТИВНОСТЬЮ

Г.А. Колотков

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

Вне зависимости от природы появления избыточной радиоактивности в почве, она инициирует ряд физико-химических реакций с появлением так называемых маркеров радиоактивности (например, атомарный водород). Разрабатываемый пассивный метод основывается на измерении мощности спонтанного излучения атомарного водорода от поверхности земли на частоте 1420 МГц [1, 2].

Таким образом, мощность сигнала на частоте 1420 МГц , которая может быть получена с 1 км^2 поверхностного слоя воздуха, на порядок величины превосходит минимально фиксируемую мощность.

Из приведенных оценок следует, что излучение приземного слоя воздуха на частоте 1420 МГц , обусловленное воздействием естественной радиоактивности, может быть зарегистрировано при условии воздушного базирования прибора с охватом площади более 1 км^2 . Конкретные параметры антенны и радиометра (приемника) должны определяться условиями измерений – высотой расположения прибора и скоростью его перемещения, а также уровнем и радионуклидным составом почв.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОА СО РАН (рег. № проекта АААА- 0368-2019-0012).

1. Kolotkov G., Penin S., Matina P. Modeling the spatial distribution of cesium-137 in surface soils in the southeast of the Tomsk region // RWP 2019 – Proceedings, paper N 8810368. P. 454–457. DOI: 10.1109/RWP.2019.8810368.
2. Kolotkov G. Detection of raised radioactivity in the atmospheric emission from the Siberian chemical combine // RWP 2019 – Proceedings, paper N 8810242. P. 446–449. DOI: 10.1109/RWP.2019.8810242.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БЛИЗКО РАСПОЛОЖЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА СОСТАВ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ФОНОВОГО РАЙОНА ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д.В. Симоненков¹, В.Ф. Рапута^{2,3}, Б.Д. Белан¹, Т.В. Ярославцева³

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

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

³Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора, Россия

simon@iao.ru

Формирование химического состава аэрозоля в тропосфере происходит под влиянием выбросов примесей от множества природных и антропогенных источников. Их вклад определяется пространственными характеристиками, текущей эмиссией, динамикой атмосферных процессов и т.д. Особый интерес представляют антропогенные источники, не очень удаленные от фонового района.

В докладе обсуждаются условия формирования химического состава тропосферного аэрозоля и результаты самолетного зондирования атмосферы в одном из фоновых районов юга Западной Сибири (Новосибирская обл., Караканский бор). С учетом розы ветров этот район достаточно выгодно расположен по отношению к ближайшим промышленно развитым территориям, находящимся на расстояниях нескольких километров севернее и восточнее. К ним, в первую очередь, относится промышленная площадка Новосибирского электроодного завода, обогатительные фабрики, угольные разрезы, цементный завод, городские территории. С учетом сопутствующих направлений ветра по отношению к фоновому району анализируются результаты экспериментальных исследований и численного моделирования процессов переноса примесей в пограничном слое атмосферы. Проводится сопоставление с данными мониторинга загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами, ионными компонентами в Линево-Искитимской промышленной зоне.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (грант № 18-45-700020), финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-47-540008.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СНЕГОВОГО ПОКРОВА В ОКРЕСТНОСТЯХ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ (гг. ТОПКИ И ИСКИТИМ)

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

Представлен сравнительный анализ элементного состава проб твердой фазы снежного покрова, отобранных в окрестностях цементных заводов г. Топки и г. Искитим. Исследуемые предприятия являются крупными производителями цемента и портландцементного клинкера. Проведение сравнительного анализа данных цементных заводов является интересным из-за единой технологии и используемого топлива (природного газа). Пробы снежного покрова были изучены методами масс спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) и инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА), проведенные в химико-аналитическом центре «Плазма» в г. Томск и в ядерно-геохимической лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ.

В результате были определены элементные составы проб твердой фазы снежного покрова, определен элементный состав используемого сырья и добавок для производства цемента. Было выявлено, что элементный состав проб сравниваемых территорий достаточно схож: по всем исследуемым направлениям преобладающим элементом является кальций, к элементам, превышающим фоновые показатели, относятся Yb, Tb, Zn, As, Sr, Cd, Sb, Tl. Анализ элементного состава сырьевых компонентов показал связь между элементами в сырье и пробах твердой фазы снега.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЯ В ТЕЧЕНИЕ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА ПО ДАННЫМ ПОСЛОЙНОГО ИЗУЧЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА

В.С. Бучельников¹, А.В. Таловская¹, Е.Г. Язиков¹, Д.В. Симоненков²,
Б.Д. Белан², М.П. Тентюков³

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

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

³Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Россия
victor.buchelnikov@yandex.ru

Представлены результаты исследования минерального и гранулометрического состава аэрозоля по данным послыйных отборов снегового покрова. Отбор проб проводился в период с января по март 2019 г. на двух площадках: на обсерватории «Фоновая» и вблизи станции высотного зондирования ИОА СО РАН с использованием послыйного снегоотборника М.П. Тентюкова (патенты № 2477461, 2411487). Гранулометрический анализ снеготалой воды проводился методом лазерной дифракции с помощью лазерного анализатора размеров частиц Shimadzu SALD-7101 на базе отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий ТПУ. Минеральный состав исследовался в учебно-научной лаборатории электронно-оптической диагностики МИНОЦ «Урановая геология» с применением сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Hitachi S-3400N с ЭДС Bruker XFlash 4010/5010 для проведения рентгеноспектрального анализа. Для каждой площадки выделены как общие, так и характерные только для конкретной точки отбора особенности гранулометрического состава. В результате исследования минерального состава снеговых слоев выявлены как общераспространенные минеральные фазы, так и встречающиеся только на определенной площадке, кроме того, на основе расчета снегонакопления определены приблизительные периоды образования снеговых слоев и поступления в них минеральных фаз.

ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ В СОСТАВЕ АНТРОПОГЕННЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА СОСТОЯНИЕ ТКАНЕЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ

А.М. Игнатова¹, М.А. Землянова²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

²Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, г. Пермь, Россия
iampstu@gmail.com

Темпы роста производства нанодисперсных материалов и товаров с их содержанием за последние 10 лет ежегодно увеличивались на 5–8%. При этом в общей доле продукции, доля содержащей частицы оксидного состава составила 35–40%. При этом за весь проанализированный период времени не было разработано и запущено в массовое производство общедоступных средств для защиты от воздействия наноразмерных частиц. Более того, до сих пор не разработаны стандарты и нормативы защиты от такого воздействия. Для создания таких, а также оценке эффективности средств защиты в дальнейшем, необходимы данные о воздействии оксидных наноразмерных аэрозолей на состояние тканей внутренних органов. Сравнительные исследования авторов по установлению морфологических изменений тканей внутренних органов при воздействии нанодисперсных оксидов легких и переходных металлов и неметаллов, проведенные методом *in vivo*, позволили установить, что: воздействие нанодисперсных частиц оксидов переходных металлов приводит к морфологическим изменениям тканей тимуса, выраженных в форме иммунного ответа; оксидов легких металла – тканей костного мозга, выраженного в форме гиперплазии с преобладанием миелоидного ростка с частичной редукцией жировой ткани и костных балок; оксидов неметаллов – тканей надпочечников, выраженных как полнокровие синусоидных капилляров. При воздействии всех групп наноразмерных оксидных частиц отмечаются изменения морфологии тканей легких, причем в наибольшей степени изменения альвеолярного рисунка наблюдаются при воздействии наноразмерных частиц оксидов переходных металлов.

МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ УЛИЧНОЙ ПЫЛИ КАК ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ УГЛЕДОБЫЧИ

Е.Г. Язиков¹, Н.А. Осипова¹, А.В. Таловская¹, К.Ю. Осипов²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

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

Представлены результаты исследования магнитной восприимчивости проб уличной (дорожной) пыли. Отбор проб проводился в летний период 2020 г. на территории г. Междуреченска, подверженной воздействию предприятий угледобычи. Пробы дорожной пыли подвергались ситовому анализу и затем проводился анализ каждой фракции. Кроме этого, во фракции менее 1 мм определялось содержание элементов группы железа методом ИСП-МС в Химико-аналитическом центре «Плазма», г. Томск, а изучение магнитной восприимчивости с использованием каппаметра КАРРАМЕТЕР КМ-7 в МИНОЦ «Урановая геология» Томского политехнического университета. Для каждой пробы определялся вес, а затем для каждой фракции проводилось определение магнитной восприимчивости в режиме трехкратного измерения для исключения ошибки. Среднее значение принималось в расчет. Обработка и интерпретация результатов проводилась как по площади территории, так и привязывалась конкретно к местности с учетом ландшафтных особенностей и предприятий угледобычи. Величина магнитной восприимчивости изменяется от $122,7 \cdot 10^{-5}$ СИ до $1152,0 \cdot 10^{-5}$ СИ в зависимости от величины фракции и места нахождения. Определение магнитной восприимчивости в пробах дорожной пыли позволяет экспрессно фиксировать участки загрязнения тяжелыми металлами группы железа (Fe, Co, Ni).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00675 А.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА ПЫЛЕАЭРОЗОЛЕЙ, ОСЕВШИХ НА СНЕГОВОЙ ПОКРОВ

А.В. Таловская, Е.Г. Язиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
talovskaj@yandex.ru

Представлена разработанная систематизация городских территорий на основе анализа природно-климатических условий, численности населения и промышленной специализации урбанизированных территорий, изучения уровня пылевой нагрузки на снеговой покров, широкого спектра химических элементов, форм их нахождения, природных и техногенных минералов, металлосодержащих микрочастиц в пылеаэрозолях, осевших на снеговой покров на территории 21 города юга Западной Сибири и частично юга Восточной Сибири.

Осуществлялась систематизация городов как целостных систем, а также промышленных предприятий различных отраслей производства. Предложено систематизировать города и предприятия по: 1) критериям (метеорологические, геоморфологические); 2) уровням (численность городского населения, промышленно-функциональная специфика); 3) прямым и косвенным признакам (уровень пылевого загрязнения снегового покрова, геохимические и минерально-вещественные особенности твердого осадка снега). Критерии и уровни имеют показатели, по которым предложены типы городов. Важной составляющей являются признаки, которые характеризуются эколого-геохимическими, статистическими и эколого-минералогическими показателями для твердого осадка снега, основываются на картографировании участков загрязнения и авторских запатентованных изобретениях на способы определения загрязнения территории техногенными пылеаэрозолями (патент № 2229737, 2004 г.) и радионуклидами (патент № 2453869, 2012 г.) по изучению твердого осадка.

Выполнение предложенной систематизации позволило определить влияние природных факторов, численности населения и промышленной специализации предприятий на особенности формирования пылеаэрозольного загрязнения урбанизированных территорий.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов компании ВР и РФФИ (№ 16-45-700184p_a; 20-05-00675 А).

ЭКОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА ТЕРРИТОРИИ г. ЮРГА (КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

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

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

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

Юрга – средний по численности населения города с развитым промышленным комплексом (машиностроение, металлообработка, производство минеральных стройматериалов), исследование загрязнения снегового покрова которого позволило выполнить спектр экологических задач от установления загрязнения и его источников до определения неблагоприятных районов для проживания населения.

Анализ минерально-вещественного состава проб твердого осадка снега проводился с использованием бинокулярного микроскопа на основе запатентованной разработке сотрудников ТПУ (патент № 2229737), электронно-сканирующей микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Выполнялось построение карт пространственного распределения минеральных и техногенных частиц в составе снегового покрова г. Юрга, а также в функциональных зонах города (жилой, промышленной и рекреационной).

Твердый осадок снега представлен минеральными (кварц, полевые шпаты, карбонаты) и техногенными (алюмосиликатные, металлические микросферулы, угольная пыль, металлургические шлаки, стековата) частицами, биогенными включениями [1].

Оценка состояния снегового покрова показала, что одним из главных источников загрязнения является ТЭЦ машиностроительного завода, расположенного в промзоне, по мере удаления от которой содержание техногенных частиц в пробах уменьшается. В городе также сильное негативное влияние на состояние атмосферного воздуха оказывает частный сектор с печным отоплением.

Для улучшения экологической обстановки были предложены меры по внедрению НДТ на проблемное предприятие, а также развитие рычагов управления у муниципальных органов власти.

1. Язиков Е.Г. Минералогия техногенных образований: учебное пособие / Е.Г. Язиков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 160 с.

АТМОСФЕРНОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ МИКРОЧАСТИЦ В КАТУНСКОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ ПО ДАННЫМ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Н.С. Малыгина¹, Р.Ю. Бирюков¹, А.В. Дьяченко¹, Д.В. Золотов¹, Н.А. Курятникова¹,
Е.Ю. Митрофанова¹, Д.К. Першин¹, Т.В. Яшина², Д.В. Черных¹

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

²ФГБУ Государственный природный биосферный заповедник «Катунский», с. Усть-Кокса, Россия
natmgn@gmail.com

Для оценки атмосферного поступления микрочастиц на пяти полигонах ФГБУ Государственного природного биосферного заповедника «Катунский» в период с 14 по 20 февраля 2020 г. был проведен отбор интегральных проб снежного покрова – аккумулятора атмосферных выпадений за холодный период. Пробы в замороженном виде были доставлены в лабораторию ИВЭП СО РАН, расплавлены в закрытых стеклянных контейнерах и отфильтрованы через стекловолоконные фильтры. Затем образцы были инсталлированы на алюминиевые держатели и напылены для последующего электронного микрокопирования (SEM S-3400N Hitachi Science Systems Ltd). Результаты микроскопических исследований позволили визуально выделить биологические объекты, в первую очередь – цисты золотистых водорослей и немногочисленные диатомовые водоросли. Пыльцевые зерна, обнаруженные в пробах, принадлежали как древесным (сосна сибирская), так и травянистым растениям. Во всех пробах были обнаружены микрочастицы антропогенного происхождения предварительно идентифицированные как микропластик. В целях подтверждения этого был проведен рентгеновский энергодисперсионный микроанализ (детектор XFlash 4010, Bruker AXS Microanalysis GmbH), который подтвердил, что обнаруженные микрочастицы являются микропластиком. Потенциальные источники атмосферного поступления идентифицированных природных и антропогенных микрочастиц были определены с использованием обратных траекторий движения воздушных масс (модель HYSPLIT).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50055 «Диагностика природных (первичные биологические аэрозоли) и антропогенных (микропластик) микрочастиц в геосредах внутриконтинентальных экосистем на основе ландшафтно-интерпретационного подхода».

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕКОГЕРЕНТНОГО БЕССЕЛЬ-ГАУССОВА ПУЧКА

И.П. Лукин

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

Проводится теоретическое исследование характерных особенностей формирования бессель-гауссова пучка некогерентного оптического излучения в однородной среде, турбулентной атмосфере или дискретной рассеивающей среде. Анализ задачи базируется на решении уравнения для поперечной функции взаимной когерентности второго порядка поля оптического излучения, распространяющегося в среде с непрерывными или дискретными случайными неоднородностями. Для средней интенсивности некогерентного бессель-гауссова оптического пучка получено условие, которое является количественным критерием возможности формирования данного оптического пучка на протяженной трассе в однородной или случайно-неоднородной средах. Изучено поведение степени когерентности некогерентного бессель-гауссова оптического пучка в зависимости от параметров пучка (радиуса гауссова фактора поля оптического пучка и компоненты волнового вектора, ортогональной направлению распространения оптического излучения) и характеристик случайно-неоднородной среды. При высоких уровнях флуктуаций в случайно-неоднородной среде степень когерентности некогерентного бессель-гауссова оптического пучка описывается спадающей кривой, которая по мере возрастания уровня флуктуаций случайно-неоднородной среды на трассе формирования оптического пучка становится ближе к аналогичной характеристике сферической волны.

Работа выполнена по проекту фундаментальных исследований РАН № АААА-А17-117021310149-4.

ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

С.А. Шишигин

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

Спутниковые спектрометры регистрируют интегральные по частоте величины, которые зависят от температуры, но слабо зависят от давления воздуха, что вызывает необходимость использовать точные значения температуры исследуемой среды. Ошибка в температурном профиле в несколько градусов может давать сравнимый вклад с вариациями среднего содержания (CH_4 – 8%, CO_2 – 2%) газа в функцию пропускания атмосферы [1]. Это приводит к существенным ошибкам в результатах решения обратной задачи по определению концентрации парниковых газов из измеренных ИК-спектров пропускания атмосферы.

В докладе приводится анализ модели атмосферы, представленной в виде горизонтального однородного слоя толщиной 5000 м и двух однородных горизонтальных слоев всех возможных размеров составляющих первоначальный слой. Параметры слоев определены для стандартной атмосферы. Вклад в уходящее излучение атмосферы в исследуемых спектральных участках линии поглощения метана равен вкладам в уходящее излучение Земли всеми неоднородными слоями, их составляющими. Показано влияние ошибки температуры поверхности Земли и ее вертикального распределения в атмосфере на погрешность определения содержания метана в воздухе по уходящему ИК-излучению атмосферы.

1. Рокотян Н.В., Грибанов К.Г., Захаров В.И. Эффект температурно-независимого поглощения и его использование для зондирования парниковых газов в атмосфере // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 510–515

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ

С.А. Шишигин

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

Приводится анализ модели атмосферы, представленной в виде одного и двух однородных слоев до высоты 5 км. Параметры слоев определены для стандартной атмосферы при условии, что вклад в уходящее излучение атмосферы в исследуемых спектральных участках линии поглощения метана $1240,901\text{--}1240,949\text{ см}^{-1}$; $1327,12\text{--}1327,17\text{ см}^{-1}$ равен вкладам в уходящее излучение Земли всеми неоднородными слоями, их составляющими. При расчетах спектров ослабления ИК-излучения атмосферными газами использовалась информационная система «СПЕТРА» ИОА СО РАН [1].

Минимизация разности рассчитанного содержания метана по уходящему излучению Земли в каждом рассмотренном спектральном участке при вариациях температуры слоев позволило определить вертикальное распределение температуры воздуха при различных величинах мощности уходящего излучения, а также повысить точность расчетных значений вертикального распределения содержания метана в атмосфере.

1. Михайленко С.Н., Бабиков Ю.Л., Головки В.Ф. Информационно-вычислительная система «Спектроскопия атмосферных газов». Структура и основные функции // Оптика атмосфер и океана. 2005. Т. 18, № 9. С. 765–776.

АППАРАТУРА ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

С.Ф. Баландин

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

В настоящее время разработаны различные методы определения вертикальных профилей атмосферных газов, основанные на ослаблении излучения атмосферными газами в диапазоне $600\text{--}2000\text{ см}^{-1}$ со спектральным разрешением $0,1\text{--}0,5\text{ см}^{-1}$, позволяющие восстанавливать вертикальные профили и полное содержание в атмосферном столбе различных парниковых газов.

Для практической реализации данных методик на спутниках использовались сенсоры нового поколения: IMG, AIRS, TES, SCIAMACHY, IASI. Наиболее удачным из работающих на орбите в 2005–2006 г. сенсоров метана оказался AIRS (NASA). Это решеточный спектрометр с 2378 спектральными каналами в диапазоне $3,7\text{--}15,4\text{ мкм}$ и разрешением $\sim 0,5\text{ см}^{-1}$. При этом, вертикальный профиль метана восстанавливается расчетным путем, исходя из измеренных спектров яркости уходящего теплового излучения Земли (IMG, AIRS, TES, IASI) или спектров поглощения атмосферой солнечного излучения в ИК-области (SCIAMACHY).

Рассмотрена возможность измерения содержания CO_2 во всей толще атмосферы корреляционным радиометром (GFCRs) в области 6300 см^{-1} ($1,6\text{ мкм}$) и 5000 см^{-1} (2 мкм) со спутника по рассеянному солнечному излучению поверхностью Земли. Проведен теоретический анализ влияния на погрешность измерения содержания CO_2 в атмосфере положения анализируемого спектрального участка, изменение температуры, давления, влажности воздуха в спектральных областях $6000\text{--}6600$ и $4600\text{--}5200\text{ см}^{-1}$.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРЫ НА СПУТНИКОВЫЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОЗОНА, УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ОКИСИ УГЛЕРОДА

С.Ф. Баландин

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

Анализируются возможности замены газовой кюветы, многоспектральным оптическим фильтром, с линиями поглощения совпадающими или близкими к спектру поглощения. В качестве такого фильтра выбран интерферометр Фабри-Перо, работающий в режиме отражения.

Для O_3 проведен анализ участка спектра диапазона $990\text{--}1070\text{ см}^{-1}$. На данном участке наблюдается сильное влияние воды. Ошибка измерений может быть более 100%. Поэтому данный диапазон при использовании интерферометра не пригоден для измерений. Для более узкого спектрального диапазона $990\text{--}1020\text{ см}^{-1}$ влияние воды значительно (до 7–10%) уменьшается и при точности дополнительных измерений H_2O – до 20%, температуры в слоях атмосферы – 1–2 К, суммарная погрешность измерений озона в слое 20–30 км будет составлять 5–10%.

Анализ эффективности работы спутникового ИК-радиометра в различных спектральных интервалах полос поглощения CO_2 показал, что наиболее информативным участком спектра для измерений содержания углекислого газа во всей толще атмосферы со спутника является область $920\text{--}960\text{ см}^{-1}$. В данном интервале частот наблюдается минимальное влияние паров воды и практически отсутствуют спектральные линии озона и других атмосферных газов. При этом, как показали расчеты, оптимальная длина оптического пути в корреляционной кювете составляет 50 м с газом CO_2 при давлении 1 атм и температуре 296 К. Реальное применение такой кюветы на спутнике практически невозможно. Анализ показал, что при использовании интерферометра Фабри-Перо приемлемая погрешность установки и изменений угла отражения составляет 10^{-5} рад, а расстояния между пластинами – 10^{-1} мкм.

Для CO при коэффициенте отражения зеркал интерферометра $R_{fp} = 0,7$, расстояния между зеркалами $H_{fp} = 0,139$ см, коэффициенте поглощения зеркал $K_{fp} = 0,02$, угле наклона зеркал интерферометра $W_{fp} = 0,2003$ рад, уровень регистрируемого с помощью интерферометра сигнала достигает 80% от уровня сигнала по сравнению с корреляционной кюветой. Проведенные расчеты аппаратных функций показали, что интегральное влияние атмосферных помех на регистрируемый сигнал при использовании интерферометра Фабри-Перо уменьшается в 1,5–2 раза по сравнению с корреляционной газовой кюветой, имеющей оптимальные параметры.

Таким образом, при проведении корреляционных спутниковых измерений для газов O_3 , CO_2 и CO замена газовых кювет интерферометром Фабри-Перо вполне осуществима и в ряде случаев предпочтительнее, особенно для O_3 и CO_2 .

КОНДЕНСАЦИОННЫЙ РОСТ КАПЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Д.Н. Габышев

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

Для изучения конденсационного роста левитирующих микрокапель воды в электрическом поле используется лабораторная технология капельного кластера [1, 2]. Новое исследование [3] показало, что в полях напряженностью $\sim 10^5$ В/м, характерных для грозовых облаков, электроконденсация зависит от температуры. Она протекает эффективнее при более низких температурах в сравнении с диффузионной конденсацией без электрического поля при той же температуре. Так, на интервале от 50 до 70 °С максимальный относительный вклад электроконденсации (т.е. по отношению к диффузионному потоку без поля) наблюдался при 50 °С. Это связано с тем, что при пониженной температуре хаотичность движения молекул водяного пара меньше, поэтому их ориентационная поляризация выше при остальных равных параметрах. Потому же чувствительность электроконденсации к полю (прибавка единицы массы конденсата на единицу напряженности поля) выше при более низкой температуре. Отсюда следует, что электроконденсация может играть важную роль в природе при температурах атмосферных облаков, позволяя осадкам формироваться быстрее.

Исследование профинансировано грантом Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (МК-819.2020.2).

1. Fedorets A.A. et al. // Int. J. Heat Mass Transf. 2019. V. 133. P. 712.
2. Gabyshev D.N. et al. // J. Aerosol. Sci. 2019. V. 135. P. 103.
3. Gabyshev D.N. et al. // Aerosol. Sci. Tech. 2020. DOI: 10.1080/02786826.2020.1804522 [в печати].

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРА РОСТА АТМОСФЕРНЫХ ЧАСТИЦ РАЗНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Вик.В. Польшкин, М.В. Панченко, В.П. Шмаргунов

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

Хорошо известно, что изменение размеров частиц при увеличении относительной влажности воздуха RH значительно влияет на их микрофизические и оптические свойства. Одной из трудных проблем при восстановлении комплекса оптических характеристик на основе ограниченного набора измерений является сложная зависимость роста частиц разных размеров от RH в субмикронном диапазоне спектра. С целью определения фактора роста частиц разных размеров, забираемых из атмосферы, при их искусственном увлажнении синхронно со всем комплексом наших наблюдений был проведен длинный цикл измерений с применением фотоэлектрического счетчика АЗ-10 и разработанного в Лаборатории оптики аэрозоля ИОА СО РАН автоматизированного увлажнителя [1] искусственного изменения относительной влажности воздуха. В работе обсуждаются методические аспекты, результаты оценки фактора роста частиц в различных атмосферных ситуациях при искусственном увлажнении воздуха в диапазоне относительной влажности 40–90%.

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

1. Панченко М.В., Курьшев С.П., Шмаргунов В.П., Терпугова С.А. Автоматизированный увлажнитель для исследования свойств аэрозоля при изменении относительной влажности // Аэрозоли Сибири. XXVI Конференция: Тезисы докладов. Томск: Изд-е ИОА СО РАН, 2019. С. 87.

МЕТОД ДИСТАНЦИОННОГО ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ НА НАЛИЧИЕ МЕТАНА

С.Л. Лещенко, О.В. Непомнящий, Д.А. Недорезов, К.В. Кондратьев

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

Предложен метод лидарного зондирования атмосферы, основанный на принципе резонансного поглощения лазерного излучения метаном на селективных частотах [1]. Определение предельных концентраций основано на узкой полосе поглощения в ИК-области спектра с длиной волны 3,3912 и 3,3922 мкм. При использовании He–Ne-лазеров, с заданной длиной волны, появляется возможность установки регистрирующей аппаратуры на базе беспилотного летательного аппарата, что в совокупности позволяет избежать паразитной засветки и выполнять измерения с требуемой точностью на трассах от 50–150 м. Определение предельных концентраций позволяет локализовать места предполагаемых выходов природного газа на поверхность и, таким образом, выявлять вероятностные месторождения углеводородов, а в условиях мегаполисов с опережением формировать прогнозы экологических катастроф. С целью теоретического подтверждения предложенных решений, в среде Matlab был разработан и реализован математический аппарат трассы лидара [2]. При моделировании использовались данные спектроскопических баз HITRAN-2015 и Geisa-2011.

1. Лещенко С.Л., Попов Д.В. // V Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии» ЛаПлаз-2019: Сборник научных трудов. Ч. 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2019. С. 342–344.
2. Nepomnyashchiy O., Sirotnina N., Popov D., Leshenko S. Anthology of scientific research papers // Space Engineering, Technologies & Exploration. ECM Space Technologies GmbH, Berlin, Germany, 2018. P. 186–190.

МИКРОВОЛНОВАЯ РАДИОМЕТРИЯ АТМОСФЕРЫ В ФГБУ «ЦАО» – ИСТОРИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Е.Н. Кадыгров, А.Г. Горелик, А.К. Князев

*Федеральное бюджетное учреждение «Центральная аэрологическая обсерватория,
г. Долгопрудный, Московская обл., Россия
enkadygrov@gmail.com*

В 2021 г. исполняется 80 лет со дня основания Центральной аэрологической обсерватории. Начав свою деятельность в суровые военные годы, обсерватория со временем вошла в число ведущих НИИ Росгидромета. Широко известны результаты работ ученых ЦАО в области физики облаков (А.М. Боровиков, А.Х. Хргиан),

аэрологии (В.Д. Решетов, Н.А. Зайцева), ракетном зондировании атмосферы (Г.И. Голышев, Г.А. Кокин), радиометеорологии (В.В. Костарев, А.А. Черников), активных воздействий на облака (И.И. Гайворонский, Ю.А. Серегин), лазерном зондировании атмосферы (В.М. Захаров, О.К. Костко). Развивалось в ЦАО и еще одно направление, особенно в 2000-е гг., – дистанционная аэрология с использованием СВЧ-радиометров для непрерывного измерения профилей температуры атмосферы, общего содержания водяного пара и водозапаса облаков. Впервые на оперативном метеорологическом спутнике был использован бортовой СВЧ-радиометр, разработанный в ЦАО [1], широко известны разработанные в ЦАО сканирующие микроволновые профиломеры для измерения профилей температуры атмосферного пограничного слоя [2], создан уникальный многоканальный СВЧ комплекс «Микрорадком» [3]. В перспективе запланированы комплексные эксперименты с участием радиометров, беспилотных летательных аппаратов, радиозондов и лидаров в рамках проекта GRUAN.

1. Горелик А.Г., Домбковская Е.П., Озеркина В.В., Семилетов В.И., Скурацова И.С., Фролова А.В. Микроволновые поляризационные измерения на спутнике «Метеор» // Метеорол. и гидрол. 1975. № 7. С. 36–45.
2. Кадыгров Е.Н., Кузнецова И.Н., академик Голицын Г.С. Остров тепла в пограничном слое атмосферы над большим городом: новые результаты на основе дистанционных данных // Докл. РАН. 2002. Т. 385, № 4. С. 541–548.
3. Кадыгров Е.Н., Горелик А.Г., Миллер Е.А., Некрасов В.В., Троицкий А.В., Точилкина Т.А., Шапошников А.Н. Результаты мониторинга термодинамического состояния тропосферы многоканальным микроволновым радиометрическим комплексом // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 6. С. 459–465.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ БИОСЕНСОРА НА ОСНОВЕ НАНОПРОВОЛОЧНОГО ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВИРУСНЫХ ПАТОГЕНОВ В ПРОБАХ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

А.А. Черемискина, А.С. Сафатов, В.М. Генералов, Г.А. Буряк

ФБУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» Роспотребнадзора,
пос. Кольцово, Новосибирская обл., Россия
cheremiskina_aa@vector.nsc.ru

Проблема обнаружения вирусных частиц в атмосферных аэрозолях в реальном масштабе времени, осложненная низким уровнем содержания патогенов в пробе [1], все так же остается актуальной для современных исследователей.

Перспективным направлением для индикации вирусных частиц в атмосферных аэрозолях является использование биосенсоров на основе нанопроволочного полевого транзистора, принцип работы которого заключается в специфическом взаимодействии молекул рецепторного слоя и аналита непосредственно на поверхности нанопроволоки (затвор), что приводит к изменению величины тока в цепи исток-сток [2–4].

Для более точных результатов необходимо чтобы прибор обладал хорошей чувствительностью. Одним из способов ее повышения может выступать диэлектрофорез на поверхности биосенсоре, так как его применение позволяет увеличить концентрацию вирионов вирусов в области нанопроволоки [5, 6].

Работа выполнена в рамках госзадания Роспотребнадзора.

1. Fronczek C.F., Yoon J.-Y. Biosensors for Monitoring Airborne Pathogens // J. Laboratory Automation. 2015. V. 20, N 4. P. 390–410.
2. Naumova O.V. et al. Silicon nanowire transistors for electronic biosensors // Autometry. 2009. V. 45, N 4. P. 6–11.
3. Kuznetsov E.V. et al. Biosensors using Si nanowire field-effect transistor // Innovative Economy. 2010. N 3. P. 85–89.
4. Bergveld P. Development of an Ion-Sensitive Solid-State Device for Neurophysiological Measurements // IEEE Trans. Biomed. Eng. 1970. V. BME-17. P. 70–71
5. Chena D.F. et al. Bioparticle separation and manipulation using dielectrophoresis // Sensors and Actuators A. 2007. V. 133. P. 329–334.
6. Kadaksham J. et al. Manipulation of particles using dielectrophoresis // Mechanics Research Communications. 2006. V. 33. P. 108–122.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СИБИРСКАЯ ЛИДАРНАЯ СТАНЦИЯ: АППАРАТУРА И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

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

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

Представлен сформировавшийся к настоящему времени лидарный измерительный комплекс Сибирской лидарной станции. Приводится техническое описание основных блоков измерительного комплекса, показана аппаратура и некоторые результаты измерений стратосферного аэрозоля, озона и температуры средней атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № АААА-А17-117021310142-5 (госзадание).

ИМИТАТОР ЭХОСИГНАЛА ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ЛИДАРА

В.С. Шаманаев, Г.П. Сиков

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

Флуоресцентные методы дистанционного лазерного зондирования атмосферы и подстилающих поверхностей завоевывают все больший практический интерес. Известно, что тот или иной вид флуоресценции присущ практически любым субстанциям и/или содержащимся в них примесям. Линии/полосы флуоресценции имеют характерный, своеобразный характер, что позволяет так или иначе идентифицировать зондируемую субстанцию [1]. Но здесь кроется и основная сложность – множественность источников вторичного излучения, перекрытие полос излучения и нелинейность самого процесса. Таким образом, уравнение флуоресцентного лазерного зондирования приобретает чрезвычайно сложный вид, затрудняющий его решение в классическом понимании в конечных разностях.

Поэтому появился альтернативный подход, избегающий вывод каких-либо алгебраических формул для анализа лидарного уравнения. Это исследование формы сигнала и на основе анализа параметров этой формы вывод о принадлежности данного сигнала к тому или иному классу. Так поступили авторы [2] при флуоресцентном оптическом зондировании с беспилотных летательных аппаратов. В нашей статье [3] был использован подход распознавания образов для анализа гидрооптических лидарных эхосигналов. Таким образом, возникает системный подход к нетрадиционному решению обратных задач активного оптического зондирования. Следующая необходимая проблема – верификация таких нестандартных алгоритмов с использованием имитаторов лидарных сигналов для проверки широкополосных (в оптическом смысле) приемных систем и алгоритмов идентификации соответствующих эхосигналов.

Предлагается оптический имитатор сигналов (несколько модификаций), созданный на базе широкополосных светодиодов, формирующих суммарный спектр излучения в диапазоне 0,3–0,8 мкм. Форма итогового спектра задается блоками управления отдельных ячеек. Они регулируют скорость спада интенсивности в отдельных диапазонах излучения, их общую структуру. Это дает возможность проверять эффективность тех или иных алгоритмов распознавания.

1. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.
2. Букин О.А., Проценко Д.Ю., Чехленок А.А., Коровецкий Д.А. Методы оптического мониторинга нефтяного загрязнения морских акваторий с использованием беспилотных летательных аппаратов // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 4. С. 324–328.
3. Сергеев В.Л., Шаманаев В.С. Метод идентификации сигналов гидрооптического лидара // Оптика атмосф. и океана. 1991. Т. 4, № 3. С. 280–285.

МОБИЛЬНАЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ОДНОПЛАТНОГО КОМПЬЮТЕРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЛАЧНОСТИ

В.П. Галилейский, А.И. Елизаров, Д.В. Кокарев, А.М. Морозов

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

Оптические и микрофизические параметры облачности активно изучаются в рамках различных национальных и международных проектов, где используются как непосредственные измерения, так и дистанционное зондирование лидарами и радаром. Эти методы позволяют оперативно получать наиболее полную информацию об объекте в наблюдаемом пространстве. Альтернативой лидарным методам могут являться системы космического мониторинга, предоставляющие информацию в глобальном масштабе, с различным спектральным и пространственным расширением. Для оценки текущего состояния атмосферы, и в частности для наблюдения за облаками нижнего яруса, целесообразнее использовать возможности ПЗС-фотометрии рассеянного в атмосфере оптического излучения с последующей фильтрацией и интерпретацией данных наблюдений. Для регистрации и анализа изображений облачности разрабатывается программно-техническая система на базе одноплатного компьютера. Предварительная калибровка параметров системы и обработка поступающих данных осуществляется с помощью библиотеки компьютерного зрения OpenCV. На основе обработки последовательности изображений осуществляется расчет оптического потока и выполняется анализ движения, расчет и прогнозирование направления движения объектов природного и искусственного происхождения.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЗЕРКАЛЬНОГО СЛОЯ В АТМОСФЕРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ ПАНОРАМНО-ОПТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «TomSky»

В.П. Галилейский, А.И. Елизаров, Д.В. Кокарев, А.М. Морозов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
kdy_02@iao.ru*

Наличие в атмосфере кристаллических частиц льда, может явиться причиной существования необычных оптических явлений. Среди многообразия форм атмосферных ледяных кристаллов можно выделить группу гексагональных пластинок, которые в случае их ориентации плоскими гранями в горизонтальном направлении могут образовать атмосферное зеркало. Данная гипотеза базируется на ряде сообщений о преимущественной ориентации ледяных кристаллов в воздухе, полученной на основе лидарного поляризационного зондирования. По данным метеорологических наблюдений в Томске в осенне-зимний период наиболее часто в тропосфере реализуются слои температурных инверсий, которые могут способствовать образованию эффекта зеркального отражения. С целью обнаружения и регистрации данного явления нами были разработаны специальные методики и проведены экспериментальные исследования. С помощью прожекторной установки (мощностью 2 кВт) создавалось ограниченное в угловом диапазоне оптическое излучение, направленное в околосенитное пространство. Регистрация изображений велась с помощью программно-аппаратного комплекса «TomSky». В результате обработки изображений зеркального слоя и расчета высоты его расположения выявлена корреляция с данными вертикального распределения температуры.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ АСИММЕТРИИ ОДНОКРАТНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА В КРАСНОЙ И БЛИЖНЕЙ ИК-ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА

В.В. Пашнев¹, В.Е. Павлов², Ю.Я. Матюшенко¹, В.В. Белозерских¹

¹*Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия*
²*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия
pashnev@phys.asu.ru*

В современной климатологии неуклонно возрастает потребность в исследованиях радиационных свойств атмосферы и подстилающей поверхности, ответственных за формирование регионального климата. Одной из таких характеристик является коэффициент асимметрии рассеянных световых потоков, определяющий

поступление солнечной радиации на поверхность Земли. На основе результатов решения уравнения переноса излучения в безоблачной атмосфере разработан метод оценки коэффициентов асимметрии рассеянного света на частицах аэрозоля в длинах волн 0,675; 0,870 и 1,02 мкм. Используются данные наблюдений яркости дневного неба, оптических толщ атмосферы и альbedo подстилающей поверхности при зенитных углах Солнца $65 \div 75^\circ$. Обоснована возможность определения коэффициентов асимметрии однократного аэрозольного рассеяния интерполяционным путем без применения аппарата решения обратных задач [1].

Разработано программное обеспечение, реализующее данный метод, результаты расчетов представлены в виде подробных таблиц. Апробация на наблюдательных данных сети AERONET показала, что метод обеспечивает приемлемую погрешность определения коэффициентов асимметрии и может быть использован при проведении расчетов поступления рассеянной солнечной радиации на земную поверхность с целью последующей оценки размеров частиц.

1. Пашнев В.В., Павлов В.Е., Орлов С.С., Матющенко Ю.Я. Факторы, определяющие наблюдаемые значения коэффициентов асимметрии световых потоков в ближней ИК-области спектра // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 5. С. 385–390.

МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ МЕТАЛЛООКСИДНЫМИ СЕНСОРАМИ

Ю.О. Алексеева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)», Россия

Предложен новый метод детектирования аэрозолей, основанный на применении полупроводниковых металлооксидных сенсоров, используемых, как правило, для определения химического состава газовых примесей в атмосфере [1].

В ходе анализа существующих разработок выбраны сенсоры моделей Figaro TGS 2600 и Figaro TGS 2602 [2]. На базе данных сенсоров разработана измерительная система откликов сенсоров, с помощью которой проведена серия экспериментов с жидкокапельными аэрозолями различной дисперсности. На основе полученных экспериментальных данных проведено исследование зависимости отклика сенсора от дисперсности аэрозоля, изучена динамика частиц аэрозолей вблизи нагретого сенсора. Результаты исследования демонстрируют принципиальную возможность применения выбранных газовых сенсоров для детектирования аэрозольных примесей и определения дисперсного состава аэрозоля.

1. Обвинцева Л.А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде. // Рос. хим. журн. (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). 2008. Т. LI, № 2.
2. Романова И. Высокочувствительные датчики газа новинки от FIGARO ENGINEERING. // Электроника: НТБ. 2011. № 1. С. 64–70.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СИНХРОННОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ОБСЕРВАТОРИЯХ ИМКЭС СО РАН И «БЭК» ИОА СО РАН

Г.А. Яковлев¹, И.В. Беляева², В.А. Корольков³, С.В. Смирнов³, А.А. Кобзев³,
Б.Д. Белан⁴, М.Ю. Аршинов⁴, В.С. Яковлева⁵

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

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

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

⁵Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

yakovlev-grisha@mail.ru

В 2020 г. был организован синхронный эксперимент по исследованию динамики радиационных величин в различных условиях: городская среда и открытая загородная местность. Набор одних и тех же величин (мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, плотности потоков альфа и бета-излучений, плотность

потока радона с поверхности грунта) непрерывно измеряли на территориях геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН и на станции «БЭК» ИОА СО РАН. Основной целью исследования было выявить влияние объектов техносферы на радиационный фон приземной атмосферы.

Дополнительно оба пункта мониторинга были оборудованы оптическими осадкомерами ОПТИОС (разработка ИМКЭС СО РАН) для исследования влияния жидких атмосферных осадков на радиационные величины в городских и полевых условиях, а также различий, обусловленных количеством эманулирующих объектов техносферы. Результаты исследования детально обсуждены в работе.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ДИФфуЗИОННОЙ СЕЛЕКЦИИ АЭРОЗОЛЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОНДЕНСАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ

С.А. Терпугова¹, М.В. Панченко¹, В.П. Шмаргунов¹, П.Н. Зенкова¹,
С.Н. Дубцов², А.М. Бакланов², В.Г. Митроченко²

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

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

При изучении конденсационного роста атмосферного аэрозоля многими исследователями отмечается зависимость гигроскопических свойств от размера частиц. Нефелометрический метод обеспечивает максимальную чувствительность измеряемых оптических характеристик к частицам радиусом от ~0,05 до ~0,5 мкм. Для расширения диапазона размеров нами применяется диффузионная селекция, т.е. последовательное удаление из потока самой мелкой фракции. Таким образом мы постепенно сдвигаем нижнюю границу спектра размеров в сторону больших значений, т.е. увеличиваем средний радиус исследуемого ансамбля частиц. Это дает возможность, с одной стороны, более точно описать функцию распределения в диапазоне размеров $r < 0,2$ мкм, а с другой стороны, повысить вклад среднedisперсной фракции ($r = 0,5-1$ мкм) в формирование оптического сигнала.

В работе представляются результаты тестовых численных и экспериментальных исследований зависимости коэффициента аэрозольного рассеяния от относительной влажности воздуха с применением диффузионной отсечки. Анализируются изменения параметра конденсационной активности аэрозоля при последовательном увеличении среднего радиуса ансамбля частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, Соглашение № 19-77-20092.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ НЕФЕЛОМЕТР

А.В. Тихонов

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
ifaran@ya.ru

В Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН разработан нефелометр на базе полупроводниковых свето-фотодиодных технологий. Произведенное сравнение нового нефелометра с нефелометром ФАН и малогабаритным нефелометром «Кузнечик» конструкции с.н.с. к.ф.-м. н. А.А. Исакова показало удовлетворительное соответствие характеристик всех трех нефелометров. Новый нефелометр отличается небольшими габаритами, малой потребляемой мощностью и низковольтным питанием.

СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИФфуЗИОННОГО И ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННОГО МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА

Н.А. Альперина¹, А.А. Большаков¹, В.С. Козлов²

¹АО «НИИ ТМ», г. Санкт-Петербург, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
n.alperina@niitm.spb.ru, a.bolshakov@niitm.spb.ru, vkozlov@iao.ru

Представлен детальный обзор по характеристикам измерения массовой концентрации и спектральных коэффициентов аэрозольного поглощения черного углерода диффузионным и электроиндукционным методами. Проведен подробный сравнительный анализ приборов и методов, который показывает возможности измерения качественных показателей, существующие достоинства и недостатки и направление развития функционального потенциала измерительных приборов, описанных методов.

КОНТРОЛЬ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ УНИФИЦИРОВАННЫМИ ГАЗОВЫМИ МОДУЛЯМИ

Т.В. Колосова, А.А. Большаков

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

Приведены исследования АО «НИИ ТМ» контроля газовой среды унифицированными сменными газовыми модулями на горючие и токсичные газы: метан, водород и монооксид углерода.

Основной задачей исследования было определение стабильности работы унифицированных сменных газовых модулей при различных климатических условиях, повторяемость измеряемых параметров концентрации целевых газов, определение границ чувствительности и коэффициента селективности к перекрестным помехам. В целях достижения поставленной задачи была разработана программа с использованием пакета прикладных программ Matlab, которая реализует алгоритм сбора и обработки полученных данных. В результате удалось автоматизировать процесс обработки результатов измеряемых параметров концентрации целевых газов при различных климатических условиях, полученных при помощи средств измерений, используемых в данной работе.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ОТНОШЕНИЯ РАССЕЙЯНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ЗОНДИРОВАНИИ НА ДЛИНАХ ВОЛН 355, 532 нм

А.Я. Суханов, В.Н. Маричев, Д.А. Бочковский

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

На Малой Лидарной Станции Высотного Зондирования в Томске проводятся регулярные измерения профилей отношения аэрозольного рассеяния. Стандартный подход к измерениям основан на использовании длины волны 355 или 532 нм и обращения лидарного уравнения. В данной работе предлагается подход, связанный с совмещением лидарных сигналов на двух длинах волн и основан на предварительном обучении нейронной сети на моделируемых сигналах, приводятся данные восстановления реальных профилей и сравнение со стандартным подходом.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ ОБРАТНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО РАССЕЙЯНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ЛИДАРНОМ ЗОНДИРОВАНИИ

А.Я. Суханов

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

Приводятся модельные результаты, связанные с анализом метода нейронных сетей при решении обратной задачи лидарного аэрозольного зондирования. Анализируются возможности по восстановлению профилей как молекулярного, так и аэрозольного обратного рассеяния. Стандартные подходы требуют привлечения дополнительной априорной информации, выбора референсной точки и не рассматривают восстановления одновременно на нескольких длинах волн, здесь же делается успешная попытка восстановления на основе использования двух лидарных сигналов.

ЛИДАРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТАНА В АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ПГС-ЛИДАРНОЙ СИСТЕМЫ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ 3,30–3,43 мкм

А.А. Невзоров, О.А. Романовский, С.А. Садовников, О.В. Харченко, С.В. Яковлев

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

Разработана лидарная система дифференциального поглощения на основе параметрических генераторов света, позволяющих перестраивать лазерное излучение в ИК-диапазоне длин волн. Проведены эксперименты по дистанционному мониторингу содержания метана на приземной горизонтальной трассе зондирования в спектральном диапазоне 3300–3430 нм. На основе результатов измерений восстановлено распределение концентрации метана вдоль трассы зондирования 800 м в исследуемом спектральном диапазоне с пространственным разрешением 100 м.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-45-700003.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЛИДАРНОГО ГАЗОАНАЛИЗА

А.А. Невзоров, О.А. Романовский, С.А. Садовников, О.В. Харченко, С.В. Яковлев

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

Для функционирования экспериментального образца лидара, предназначенного для зондирования профилей концентраций малых газовых составляющих атмосферы, разработан программный комплекс (ПК) обработки данных лидарного газоанализа. В состав ПК вошли модули по записи данных лидарного зондирования атмосферы, расчету сечений поглощения и восстановлению профилей концентраций атмосферных газов. Реализована визуализация эхо-сигналов и результатов восстановления концентрации в различных режимах. С помощью созданного ПК проведена обработка данных лидарного зондирования атмосферы, выполнено восстановление распределения концентрации метана.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-45-700003.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕНОСА РАЗРЕЖЕННЫХ ГАЗОВ И АЭРОЗОЛЕЙ

В.Я. Рудяк^{1,2}, Е.В. Лежнев², Д.Н. Любимов²

¹*Новосибирский государственный университет, Россия*

²*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Россия
lionlev@yandex.ru*

Изучение процессов переноса атмосферных аэрозолей требует знания различных коэффициентов переноса. Экспериментальное их измерение в натуральных условиях обычно невозможно. Лабораторные же измерения требуют различного достаточно сложного оборудования и последующей непростой в ряде случаев интерпретации полученных данных. В разреженных газах проблема расчета коэффициентов переноса принципиально решается с помощью кинетической теории газов (см., например, [1]). Однако для реальных атмосферных газов это сделать обычно чрезвычайно сложно, не удастся эти методы непосредственно применить и для аэрозолей. Поэтому развитие методов моделирования указанных коэффициентов переноса является достаточно актуальной задачей.

В работах [2–4] развит метод стохастического молекулярного моделирования (СММ) процессов переноса в разреженных газах. В отличие от метода молекулярной динамики, который для разреженных газов фактически не применим, в методе СММ для моделирования фазовых траекторий исследуемой системы уравнения Ньютона, описывающие движение молекул и частиц, не решаются. Фазовые траектории исследуемой системы частиц моделируются стохастически. Однако в этом алгоритме выполняются законы сохранения импульса и энергии. Все наблюдаемые характеристики исследуемой системы (плотность, давление, коэффициенты переноса и т.д.) получаются путем усреднения расчетных данных по ансамблю независимых фазовых траекторий.

Коэффициенты переноса рассчитываются с использованием флуктуационно-диссипативных теорем, которые связывают коэффициенты переноса с эволюцией соответствующих двухвременных корреляционных функций.

Целью данной работы является развитие метода СММ для расчета коэффициентов бинарной диффузии разреженных газов, их вязкости и теплопроводности. Рассматриваются различные благородные газы, а также азот, углекислый газ, метан, кислород и другие. Взаимодействия молекул описывается потенциалом Леннарда-Джонса. Для описания диффузии аэрозолей использовался потенциал Рудяка–Краснолуцкого взаимодействия молекул газа с наночастицами [5]. Рассматривается несколько типов металлических аэрозолей и окислов металлов, Ca, Cu, U, Zn, MgO, CuO, а также частицы углерода. Помимо диффузии изучается вязкость соответствующих наногазовзвесей. Во всех случаях тестирование полученных результатов осуществляется на известных экспериментальных данных. Показано, что точности сопоставимой с точностью измерений (1–2%) удается добиться при использовании сравнительно малого числа частиц. Точность моделирование растет также с увеличением числа членов ансамбля используемых независимых фазовых траекторий.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-01-00041) и РНФ (проект № 20-19-00043).

1. Чепмен С., Каулинг Е. Математическая теория неоднородных газов. М.: Изд-во иностр. лит., 1960.
2. Rudyak V.Ya., Lezhnev E.V. // J. Phys.: Conf. Series. 2016. V. 738. Art. 012086.
3. Рудяк В.Я., Лежнев Е.В. // Математическое моделирование. 2017. Т. 29, № 3. С. 113–122.
4. Rudyak V.Ya., Lezhnev E.V. // J. Comp. Physics. 2018. V. 355. P. 95–103.
5. Рудяк В.Я., Краснолуцкий С.Л. // Ж. теор. физ. 2002. Т. 72, № 7. С. 13–20.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЬНО-ГАЗОВОЙ АТМОСФЕРЫ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО ПРОБОЯ

П.А. Бабушкин^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

Сочетание энергии и длительности фемтосекундного излучения позволяет достигать значений плотности энергии достаточной для реализации многофотонной и надпороговой фотоионизаций. В задаче зондирования фемтосекундным лазерным излучением эта особенность позволяет реализовать метод идентификации примесного вещества, содержащегося в виде капельного или твердого аэрозоля в атмосфере, известный в зарубежной литературе, как FS-LIBS (спектроскопия фемтосекундного лазерно-индуцированного пробоя). В лабораторных условиях проведена серия экспериментов идентификации примеси в водном аэрозоле с использованием метода FS-LIBS по лидарной схеме.

В качестве примеси к водному аэрозолю использовались пищевая йодированная соль или наночастицы меди и алюминия, которые выступали в качестве имитации антропогенного атмосферного загрязнителя [1, 2]. Регистрация эмиссионного спектра из области филаментации проводилась под углами 90° и близким к 180°.

В эксперименте были зарегистрированы сильные линии нейтрального атома натрия Na I – натриевый дублет – 588,99 и 589,59 нм, а также линии нейтральных атомов и ионов меди и алюминия.

Данный метод можно применять совместно с другими при решении задач дистанционного зондирования фемтосекундным излучением, например, дальнеметрирования или определения частиц по размерам, реализуя тем самым комплексный метод дистанционного мониторинга атмосферы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90188.

1. URL: <https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database>
2. Talebpour A., Abdel-Fattah M., Bandrauk A.D. et al. Spectroscopy of the gases interacting with intense femtosecond laser pulses // Laser Physics-Lawrence. 2001. V. 11, N 1. P. 68–76.

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВЕТРА ИЗ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ БПЛА

А.И. Гришин, А.В. Крючков

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

Существует множество вариантов измерения местной скорости ветра и турбулентности, но большинство из них либо неподвижны, либо громоздки, либо дороги. В поисках более доступного и гибкого варианта несколько компаний обратили свое внимание на беспилотные летательные аппараты (БПЛА), поскольку бортовая система измерения ветра может обеспечить желаемую гибкость, что делает ее идеальной для определенных приложений. Предлагаемый метод может быть полезен на сложной местности, где доступность традиционного анемометра затруднена, а также в ситуациях, когда доступность является проблемой. Например, ветровые условия могут быть подробно отображены на местном уровне для целей проектирования зданий, мостов или другой инфраструктуры, или для моделирования и прогнозирования накопления снега в городах.

В статье рассмотрены современные тенденции исследований скорости и направления ветра с использованием БПЛА, как с использованием традиционных датчиков, размещенных на БПЛА с неподвижным крылом, установки анемометра на мультироторный дрон, так с использованием самого квадрокоптера в качестве единицы измерения.

НАБЛЮДЕНИЕ И ОЦЕНКА РАСХОДИМОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ SPAD-КАМЕРОЙ

А.И. Гришин, А.В. Крючков, А.А. Лисенко

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

Построение лидаров и/или лидаров на базе SPAD-детекторов (Single Photon Avalanche Diode – Однофотонный лавинный диод) и появившихся на их основе матричных приемниках (SPAD-камерах) являются новым техническим решением, позволяющим по-новому решать задачи зондирования атмосферы.

Отличительной особенностью камеры являются возможность за один импульс записывать 3 кадра, т.е. за один импульс мы можем получить профиль отраженного сигнала в нескольких точках трассы зондирования до точки фокусировки, в ней, и после, что является важной информацией, например, при фокусировке или коллимации мощного лазерного излучения на определенной дальности от источника. Полученные в эксперименте данные о размере лазерного пучка на дальностях 75, 90 и 285 м соотносятся с рассчитанными в системе Zemax, с величиной ошибки менее 15%.

Описанные возможные области применения и приведенные технические характеристики дают основание надеяться на широкое использование лидаров с системой регистрации на основе SPAD-камер в исследованиях, требующих измерений характеристик быстропротекающих процессов.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ В ДОПЛЕРОВСКОМ ВЕТРОВОМ ЛИДАРЕ

А.И. Гришин, А.В. Крючков

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

Для получения информации о направлении ветра сигнал доплеровского лидара должен быть модулирован опорной частотой, которая зависит от выбранного диапазона скоростей, которые планируется регистрировать, и длины волны опорного лазера.

В статье рассмотрены варианты использования в качестве устройства смещения частоты зондирующего сигнала электрооптических модуляторов. В отличие от акустооптических модуляторов, не позволяющих менять частоту модуляции, электрооптические могут изменять ее в очень широких пределах, по закону, заданному

ВЧ-генератором. В тоже время электрооптическим модуляторам присущи недостатки, которые требуют специального контроллера рабочей точки, поддерживающего состояние модулятора в заданном положении, в независимости от условий внешней среды.

В статье проводится сравнение акустооптических и электрооптических модуляторов, с учетом их использования в описаны возможности использования модуляции для получения информации о скорости ветра по трассе из непрерывного сигнала когерентного доплеровского ветрового лидара.

ЭМИССИОННЫЕ СПЕКТРЫ СВЕЧЕНИЯ ТВЕРДОГО АЭРОЗОЛЯ И ТОПОГРАФИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ НА РАЗЛИЧНОМ УДАЛЕНИИ ОТ ИСТОЧНИКА ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.В. Апексимов¹, П.А. Бабушкин¹, Ю.Э. Гейнц¹, А.А. Землянов¹, А.М. Кабанов¹,
Г.Г. Матвиенко¹, В.К. Ошлаков¹, А.В. Петров¹, В.М. Рябцев^{1,2}

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

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
apeximov@iao.ru, bra@iao.ru, ygeints@iao.ru, zaa@iao.ru, kam@iao.ru, mgg@iao.ru,
ovk@iao.ru, awp@iao.ru; slavchik_tsu@mail.ru*

Представлены результаты комплексных исследований спектральных и временных характеристик эмиссионного свечения контрольных образцов нескольких веществ в твердом состоянии (имитация топографических мишеней в атмосфере) и в виде твердого аэрозоля (имитация загрязненного аэрозоля) под действием импульсов Ti:Sa-лазера фемтосекундной длительности (на несущей длине волны 800 нм) в условиях проявления нелинейно-оптических эффектов (самофокусировка, филаментация, суперконтинуальная коническая эмиссия).

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОЧАГОВ РАДИОАКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПАССИВНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА

П.Н. Матина¹, Г.А. Колотков²

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия*

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

В оценке географических масштабов радиационного воздействия имеются сложности, связанные со спецификой применения радиации в военной промышленности и гражданской энергетике: максимальная ведомственная закрытость и отсутствие правовой нормативной базы и анализа проблем утилизации реакторов. Значительная часть работ по этой тематике носит закрытый характер и не отражена в официальных справочниках, а в опубликованных данных не отражена четкая дифференциация поступления радионуклидов в зависимости от источников [1]. Поэтому, для понимания масштабов интенсивности антропогенной радиоактивной нагрузки на окружающую среду, существует необходимость разработки новых оперативных методов оценки состояния радиационного фона.

В рамках проекта реализуемого при поддержке РФФИ (грант № 20-35-90046 Аспиранты), предлагается использование современных геоинформационных технологий для изучения закономерностей распространения природных и техногенных радионуклидов в ландшафтах юго-востока Томской области. На основе полученных экспериментальных данных, с помощью программного комплекса ArcGIS, создать геоинформационные модели пространственного распространения основных радиоактивных элементов в ландшафтах исследуемого района.

В результате исследования будет получена уникальная информация об особенностях накопления и миграции радионуклидов. Это открывает новые направления развития геохимических и геофизических методов обнаружения повышенного содержания радиоактивных веществ в ландшафтах.

1. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП М.В. Филлимонов, 2014. 560 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ

А.И. Курганникова¹, П.П. Гейко^{1,2}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

ppg@itces.ru

Активный метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (DOAS) изначально был разработан для мониторинга газового поглощения в атмосфере и является эффективным средством для трассовых измерений концентрация атмосферных и примесных газов. Однако, этот подход также позволяет контролировать аэрозольное ослабление вдоль горизонтальной трассы при обеспечении стабильности интенсивности источника излучения. В качестве источника излучения в газоанализаторах, реализующих метод DOAS, используются ксеноновые лампы высокого давления, требующие высоковольтного питания, что делает такого рода газоанализаторы громоздкими и энергозависимыми. Благодаря достижениям последних лет в области создания УФ-светодиодов и технологии оптических волокон нам удалось создать макет портативного энергонезависимого газоанализатора для дистанционных трассовых измерений [1].

Основными элементами измерителя являются набор светодиодов; коаксиальный телескоп, одновременно исполняющий роль коллиматора и приемника излучения; ретрорефлектор; световод; фотодетектор (PDA) для регистрации спектра; компьютер и программное обеспечение для управления прибором, проведения измерений и обработки данных. Световой пучок излучения светодиодов формируется с помощью сферического зеркала и направляется на открытую атмосферную трассу длиной от десятков до сотен метров, отражается угловым кварцевым отражателем и поступает в приемный канал телескопа. Проведена серия измерений концентраций газов монооксида брома, диоксида хлора и диоксида азота в южной части города Томска. Протяженность трассы составила до 480 м (240 м до ретрорефлектора, высота 10 м). Восстановлено аэрозольное ослабление в области 360–400 нм. Для объективной оценки полученных результатов планируется сопоставление с результатами одновременных наблюдений интегрирующего нефелометра. Возможно также использование светодиодов видимого диапазона.

1. Geiko P., Smirnov S., Samokhvalov I. // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2015. V. 24, N 2. P. 152–158.

ОТРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ ПРОБ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ВТОРИЧНЫХ ИОНОВ

А.А. Щелканов¹, М.А. Коваленко², А.Я. Купряжкин², Ю.И. Маркелов¹,
В.А. Поддубный¹, В.М. Гадельшин^{2,3}

¹Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

³Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Germany
a.shchelkanov@ecko.uran.ru

Исследование состава атмосферного аэрозоля позволяет делать выводы о его происхождении и о воздействии, оказываемого им на компоненты экосферы. Для понимания и предсказания величины этого воздействия необходимо иметь возможность одновременного изучения физико-химических свойств и морфологических особенностей аэрозольных микрочастиц.

Масс-спектрометрия вторичных ионов является одним из наиболее чувствительных методов анализа химического состава поверхности образца. Качество получаемой информации напрямую зависит от предшествующих этапов пробоподготовки: важно избежать протекание каких-либо химических реакций при отборе и работе с пробой, а вынужденные искажения должны быть однозначно обоснованы и учтены при интерпретации конечных результатов.

В данном докладе обсуждается разработка методики исследования атмосферного аэрозоля с помощью масс-спектрометрии вторичных ионов. Пробоотбор аэрозольных микрочастиц осуществлялся напрямую путем прокачки воздуха через аэрозольные фильтры. Проведенные измерения продемонстрировали влияние состава стандартных аналитических аэрозольных фильтров на конечные результаты и подтвердили необходимость дальнейшего поиска более приемлемых методов отбора проб.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50138.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ОПТИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СЛУЧАЙНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ, ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВЕТРОВЫХ ПОЛЕЙ»

ФОРМИРОВАНИЕ «ИДЕАЛЬНОГО» ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

И.П. Лукин

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

«Идеальным» оптическим вихрем (а «perfect» optical vortex) называется такой оптический вихрь, который не изменяет своего радиуса при изменении величины топологического заряда. Сформировать «идеальный» оптический вихрь можно при помощи различных оптических устройств. На практике применение таких оптических устройств приводит к формированию светлых колец с одним и тем же радиусом, который слабо зависит от топологического заряда вихря. Среди подобных оптических устройств можно выделить оптимальный фазовый оптический элемент. Под оптимальным понимается такой фазовый оптический элемент, который направляет наибольшую часть энергии оптического излучения в кольцо заданного радиуса. Таким образом, оказывается, что интенсивность оптической волны на светлом кольце «идеального» оптического вихря больше (при прочих равных условиях) для оптимального фазового оптического элемента, чем для других оптических устройств. Вместе с тем, атмосферная турбулентность, внося искажения в фазу оптического излучения, деформирует и сам «идеальный» оптический вихрь.

В данной работе теоретически рассматривается вопрос устойчивости «идеального» оптического вихря, формируемого в турбулентной атмосфере. В данном исследовании детально анализируются особенности пространственной структуры средней интенсивности и когерентности «идеального» оптического вихря в случайно-неоднородной среде. Получен количественный критерий возможности формирования «идеального» оптического вихря в турбулентной атмосфере. На основе анализа поведения средней интенсивности и когерентности оптического излучения показано, что устойчивость формы «идеального» оптического вихря в турбулентной атмосфере увеличивается с ростом величины топологического заряда этого вихря.

Работа выполнена по проекту фундаментальных исследований РАН № АААА-А17-117021310149-4.

ПОРТАТИВНЫЙ ПАССИВНЫЙ ТРАССОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ СКОРОСТИ ВЕТРА

А.П. Ростов

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

Разработан работающий макет автономного портативного пассивного трассового измерителя скорости воздушного потока.

Известны пассивные трассового измерителя скорости воздушного потока. [1, 2]. Аппаратная и программные части, выполнены на основе ПК и скоростных видеокамер.

Здесь представлена версия бюджетного измерителя, не использующего ни видеокамер, ни ПК. Он разработан на базе нескольких микроконтроллеров ARM и AVR структуры, одномерного ПЗС простейшей оптической схемы.

1. *Ting-I Wang, Ochs G.R., Lawrence S.* Wind measurements by the temporal cross-correlation of the optical scintillations // *Appl. Opt.* 1981. V. 20, N 23. P. 4073–4081.
2. *Mikhail Belenkii.* “Passive Crosswind Profiler”, United States Patent T US 8,279,287 B2, Oct 2 2012.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛОВ ОТКЛОНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ С ПОВЕРХНОСТИ МОДЕЛЬНОГО ТЕЛА, ОБДУВАЕМОГО СВЕРХЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

Д.А. Маракасов, А.А. Сухарев

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

Представлены результаты исследований углов смещения лазерного пучка, распространяющегося через ударную волну, формирующуюся при обтекании клина и турели в аэродинамической трубе Т-313 ИТПМ СО РАН. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20115.

ОЦИФРОВКА СИГНАЛОВ ВЕТРОВОГО ЛИДАРА С ПОМОЩЬЮ КОМПАРАТОРА

А.М. Шерстобитов

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

При измерении радиальной скорости (РС) ветровым микроимпульсным когерентным доплеровским лидаром (МКДЛ) используется большое количество отчетов лидарных сигналов ($N \sim 10^5$). При нормальном распределении шумов погрешность оценивания РС уменьшается (в грубом приближении) пропорционально \sqrt{N} . Так как с повышением разрядности аналого-цифрового преобразователя (АЦП), оцифровывающего лидарный сигнал, существенно увеличивается его стоимость и растут ресурсы вычислительной системы, необходимые для обработки лидарных данных, актуальна задача оценивания погрешности измеряемой лидаром РС в зависимости от разрядности АЦП.

Проведенные эксперименты с уменьшением разрядности реальных лидарных сигналов, полученных при зондировании атмосферы с помощью МКДЛ, а также эксперименты с модельным лидарным сигналом, показывают возможность применения даже однобитного АЦП (компаратора) для оценивания РС. При разрядности АЦП 3–4 бита погрешности измерений РС становятся сравнимы с погрешностями при более высоких разрядностях АЦП (8–14 бит).

1. Смалыхо И.Н., Банах В.А. Когерентные доплеровские ветровые лидары в турбулентной атмосфере. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2013. 304 с.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА (0,63 мкм) В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В ДОЖДЕ, МОРОСИ, КРУПЕ, ТУМАНЕ И ДЫМКЕ

Н.А. Вострецов

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

Проведено экспериментальное исследование спектральной функции флуктуаций интенсивности, рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка в приземной атмосфере в дожде, мороси, крупе, тумане и дымке. Спектральная функция флуктуаций интенсивности излучения $U(f)$ рассчитывалась по данным, полученным на анализаторе спектра FSP-38, который имел 38 фильтров в диапазоне частот от 2 Гц до 20 кГц. $U(f) = f \cdot W(f) / \int W(f) df$, где $W(f)$ – спектральная плотность на частоте f . Измерения спектральных функций проведены, на трассе длиной 130 м, в рассеянном излучении фокусированного лазерного пучка. В качестве источника использовался гелио-неоновый лазер ЛГН-215. Длина волны излучения $\lambda = 0,6328$ мкм. Диаметр пучка в плоскости приема был не более 3 мм. Диаметр приемной диафрагмы $D_{пр} = 0,1$ мм. Угол поля зрения фотоприемника $2,7 \cdot 10^{-2}$ рад. Прием излучения проводился в фокальной плоскости лазерного пучка. Расстояние от центра пучка, на котором устанавливался фотоприемник равно 10 мм.

Установлено, что форма спектральной функции флуктуаций рассеянного излучения при близких оптических толщах существенно отличается в тумане, дымке и атмосферных осадках (дожде, мороси, крупе, снеге).

В тумане спектральная функция заметно более высокочастотная, чем в дожде, снегопаде и мороси. Спектральная функция в дожде более высокочастотная, чем в снегопаде. Спектральная функция в дымке, более низкочастотная, чем в снегопаде и дожде.

В высокочастотной области спектральная функция $U(f)$ резко падает и описывается зависимостью $U(f) = B_0 e^{-\gamma f}$ где γ – величина наклона спектральной функции в высокочастотной области.

Работа выполнена по проекту фундаментальных исследований РАН № АААА-А17-117021310149-4.

ОСОБЕННОСТИ ФЛУКТУАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВИХРЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

А.В. Фалиц

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

В работе, с помощью численного анализа распространения когерентного излучения в турбулентной атмосфере, рассматриваются особенности флуктуации вихревых оптических полей и влияние приемной оптической системы на флуктуации принимаемого сигнала.

Работа выполнена по проекту фундаментальных исследований РАН № АААА-А17-117021310149-4.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА ЛОКАЦИОННОЙ ТРАССЕ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Д.С. Рычков

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

Методами численного моделирования [1, 2] исследованы статистические характеристики вихревого лазерного пучка на локационной трассе в атмосфере при различных турбулентных условиях на и параметрах пучка. Расчеты радиуса когерентности, радиуса корреляции интенсивности и дисперсии флуктуаций интенсивности отраженной волны в фокальной плоскости приемного телескопа, проводились для зеркальной и диффузной мишеней на трассе с постоянным значением структурной характеристики флуктуаций показателя преломления среды. Результаты моделирования сравниваются с фундаментальными результатами для плоской, сферической волн и гауссова пучка.

Работа выполнена в рамках проекта РАН № АААА-А17-117021310149-4.

1. Кандидов В.П. Метод Монте-Карло в нелинейной статистической оптике // Успехи физ. наук. 1996. Т. 166, № 12. С. 1309–1338.
2. Банах В.А., Разенков И.А., Смалихо И.Н. Аэрозольный лидар для исследования усиления обратного атмосферного рассеяния. I. Компьютерное моделирование // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 1. С. 5–11.

ОЦЕНКА ФОРМЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С МОДЕЛЬЮ ОГНЕННОГО СМЕРЧА

М.В. Шерстобитов, Р.Ш. Цвык, В.М. Сазанович

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

Конвективная колонка обширного пожара иногда закручивается, и тогда возникает колоннообразный дымо-огненный вихрь. По аналогии с атмосферным торнадо, такое явление называется огненным смерчем.

В представленной работе проведено маломасштабное физическое моделирование явления с помощью размещения источника горения на оси восходящего закрученного потока воздуха. Проведено лазерное зондирование модели. Рассчитаны спектры пульсаций интенсивности лазерного излучения и установлена форма этих

спектральных функций в нескольких точках по высоте и по ширине пламени. Проведена оценка форм спектральных функций по нескольким параметрам. Полученные результаты могут служить параметром при описании вихревого пламени.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВРЕМЕННОГО ХОДА ВЫСОТЫ СЛОЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ИЗ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИДАРОМ Stream Line ПРИ КОНИЧЕСКОМ СКАНИРОВАНИИ ЗОНДИРУЮЩМ ПУЧКОМ

И.Н. Смалихо, В.А. Банах, А.В. Фалиц

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

В настоящее время для изучения ветровой турбулентности пограничного слоя атмосферы наиболее эффективным техническим средством является импульсный когерентный доплеровский лидар (ИКДЛ). Разработан ряд методов определения параметров ветровой турбулентности и высоты слоя турбулентного перемешивания воздуха из измерений ИКДЛ. В этой работе из данных эксперимента на Базовом экспериментальном комплексе ИОА СО РАН, проведенного летом 2019 г., мы оценивали высоты слоя перемешивания по спаданию вертикального профиля скорости диссипации турбулентной энергии до уровня $10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}^3$. При этом профили скорости диссипации восстанавливались из измерений ИКДЛ Stream Line при коническом сканировании зондирующим пучком с использованием предложенного в [1] метода. Из непрерывных лидарных измерений в течение недели получены суточные ходы высоты слоя перемешивания с временным разрешением 30 мин. С использованием численного моделирования мы определили точность лидарных оценок высоты слоя перемешивания для условий данного эксперимента.

1. Smalikh I.N., Banakh V.A. // Atmospheric Measurement Techniques. 2017. V. 10, N 11. P. 4191–4208.

ФЛУКТУАЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ЧЕРЕЗ МОДЕЛЬНЫЙ ОГНЕННЫЙ СМЕРЧ

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

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

Турбулентные пульсации в закрученных потоках (модель огненного смерча) развиваются в условиях ограниченного объема, сильной пространственной неоднородности средних и флуктуационных параметров течения. Огненный смерч формировался путем внешней закрутки лопастями пламени воздуха вокруг емкости с горящим топливом (спирт) [1]. К настоящему времени исследованы спектры флуктуаций интенсивности лазерного излучения, распространяющегося через смерч, и собственного излучения пламени, теплового потока пламени и ряд других характеристик при различных скоростях закрутки воздуха и количества топлива [1, 2]. В отличие от флуктуаций интенсивности, чувствительных к мелкомасштабной турбулентности, флуктуации фазы чувствительны к масштабам неоднородностей показателя преломления порядка и более размера приемной диафрагмы. Такие измерения позволяют расширить информацию о размерах неоднородностей в струе и восстановить распределение показателя преломления в пламени.

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований флуктуаций направления фазового фронта лазерного пучка, распространяющегося через пламя огненного смерча. Измерения выполнены с применением 5 координатно-чувствительных фотоприемников, размещенных за экраном с 5 отверстиями диаметром 1 или 2 мм на различных высотах от емкости с горючим. Рассматриваются средние значения, дисперсии и временные частотные спектры флуктуаций направления фазового фронта и их зависимость от области пересечения пламени.

Работа выполнена при проекту фундаментальных исследований РАН № АААА-А17-117021310149-4.

1. Гришин А.М., Рейно В.В., Сазанович В.М., Цвык Р.Ш., Шерстобитов М.В. // Изв. вузов. Физика. 2011. Т. 54, № 12. С. 14–24.

ДИФРАКЦИЯ ВИХРЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Л.О. Герасимова

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

Рассмотрены задачи влияния краевых дифракционных эффектов на распространяющееся оптическое излучение, содержащее сингулярность фазы в начальном распределении поля. На примере мод лаггер-гауссова пучка проведены численные исследования дифракции вихревых пучков произвольно порядка на круглом непрозрачном экране в зависимости от его пространственного расположения относительно поперечной плоскости пучка и эволюции дифрагированного пучка в зависимости от степени его перекрытия круглым экраном. Продемонстрировано восстановление мод лаггер-гауссова пучка по мере его распространения даже при полном перекрытии его центральной части.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 18-79-10115).

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА В СВЕРХЗВУКОВОЙ НЕДОРАСШИРЕННОЙ СТРУЕ ИЗ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

Д.А. Маракасов, В.М. Сазанович, А.А. Сухарев, Р.Ш. Цвык, А.Н. Шестернин

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

Представлены результаты экспериментов по лазерному просвечиванию сверхзвуковых недорасширенных струй. Искажения волнового фронта лазерного пучка регистрировались с помощью линейки позиционно-чувствительных детекторов. Продемонстрировано, что совокупность средних локальных наклонов волнового фронта пучка в плоскости за струей отображает основные элементы пространственной структуры струи (диск Маха, внутренний и внешний слой смешения, висячий и присоединенный скачки). Построены образы струй при различных скоростях истечения, и проведено восстановление распределений средней плотности воздуха в струе. Результаты восстановления сопоставляются с данными численного моделирования истечения струй.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20115.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ НА ЧАСТОТАХ ДИСКРЕТНЫХ ТОНОВ В КАНАЛЕ СВЕРХЗВУКОВОЙ НЕДОРАСШИРЕННОЙ СТРУИ

Д.А. Маракасов, А.А. Сухарев

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

В последние несколько десятилетий излучение сверхзвуковыми струями узкополосного шума (дискретные тоны, скрич) было предметом интенсивных исследований. На текущий момент измерения шума струи на частотах дискретных тонов проводятся датчиками, расположенными вне струи, и относятся, как следствие, к ее внешним областям. Структура пульсаций в канале струи изучается лишь численно, что при многообразии моделей возбуждения дискретных тонов требует экспериментальной валидации.

В докладе представлены результаты лазерного просвечивания сверхзвуковых недорасширенных струй на модуле ВСУ ИТПМ СО РАН. Массивом позиционно-чувствительных фотодетекторов регистрировались искажения волнового фронта пучка позади струи. Во временных спектрах обнаружены хорошо выраженные всплески на частотах скрича. Проведен анализ распределения амплитуд пульсаций в радиальном и аксиальном направлениях и сделаны предположения о механизмах возбуждения дискретных тонов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-20115.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СТРУКТУРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЛУКТУАЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕКОЛМОГОРОВСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

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*

Интенсивность оптической турбулентности в атмосфере принято характеризовать структурной постоянной флуктуаций показателя преломления, введенной для стандартной модели турбулентности Колмогорова–Обухова со степенной структурной функцией и показателем $2/3$. Как показывают многочисленные наблюдения в атмосфере, ситуация когда реализуются условия однородной и изотропной турбулентности является достаточно редкой. На практике спектры температурных микропульсаций имеют наклон отличающийся от закона « $-11/3$ ». Измеренная в таких условиях структурная постоянная (неколмогоровская) имеет размерность, отличающуюся от стандартной, что приводит к многочисленным трудностям в описании статистических свойств распространения волн в турбулентной атмосфере.

В [1] для характеристики неколмогоровской турбулентности предложено использовать эквивалентное выражение для структурной постоянной, которое рассчитывается на базе неколмогоровской структурной постоянной с учетом внешнего масштаба турбулентности и степенного закона измеренного турбулентного спектра.

С целью оценки возможности применения такого подхода в докладе представлены результаты расчетов эквивалентной структурной постоянной на основе спектральной обработки данных акустической метеостанции. Проведено сравнение с временными рядами структурной постоянной рассчитанной без учета отклонений от стандартной модели однородной и изотропной турбулентности Колмогорова–Обухова.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-42-700005 р_а.).

1. Li Y., Zhu W., Wu X., Rao I R. Equivalent refractive-index structure constant of non-Kolmogorov turbulence // Opt. Express. 2015. V. 23, N 18. P. 23004–23012.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ВИДЕОЦИФРОВЫМ ИЗМЕРИТЕЛЕМ И АКУСТИЧЕСКОЙ МЕТЕОСТАНЦИЕЙ

Д.А. Маракасов, А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, Е.В. Гордеев

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
mda@iao.ru, afanasiev@iao.ru, banakh@iao.ru, gordeev@iao.ru*

Основной характеристикой, определяющей уровень атмосферной турбулентности, является структурная постоянная. Она не измеряется напрямую, но вычисляется из результатов измерений других параметров. Например, из временных рядов температуры, или из дисперсии дрожания изображения удаленного объекта в плоскости резкого изображения приемного телескопа. Процедуры расчета структурной постоянной основываются на модели развитой турбулентности Колмогорова–Обухова, которая, однако, не всегда реализуется на практике. Поэтому возникает необходимость в корректировке этих процедур на случай неколмогоровской турбулентности, что даст возможность сопоставления оценок параметров турбулентности полученных из данных различных измерительных приборов.

В докладе проводится сопоставление оценок параметров атмосферной турбулентности полученных из данных одновременных измерений видеоцифровым измерителем и акустической метеостанцией. По временным рядам температуры сделаны оценки показателя степенной зависимости структурной функции показателя преломления от разности точек наблюдения. Хорошо выраженная зависимость показателя от скорости ветра дает возможность корректировки оценки структурной постоянной из данных оптических измерений двухканальным прибором, измеряющим одновременно и дисперсию дрожаний изображения, и скорость бокового ветра.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-42-700005 р_а.).

ОЦЕНИВАНИЕ БОКОВОГО ВЕТРА ИЗ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО УДАЛЕННЫМ ОБЪЕКТОМ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

Д.А. Маракасов, А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, В.В. Кусков, А.П. Ростов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
mda@iao.ru, afanasiev@iao.ru, banakh@iao.ru, vvk@iao.ru, rostov@iao.ru

Известные оптические методы измерения поперечного ветра требуют либо разнесения составляющих прибора на разные концы трассы (активные методы по флуктуациям интенсивности лазерного пучка), либо наличия удаленного объекта наблюдения с хорошо различимыми контрастными границами (пассивные методы по дрожанию изображений удаленных объектов). Оба варианта имеют свои недостатки, заметно ограничивающие область их применения. Первый требует специальной организации оптической трассы, второй – наличия хорошо освещенного контрастного объекта, что не всегда возможно в дневное время и, тем более, ночью.

В докладе представлен гибридный метод оценки поперечного ветра, совмещающий достоинства и компенсирующий недостатки обоих рассмотренных выше вариантов. Рассматривается возможность определения средней интегральной вдоль оптической трассы поперечной компоненты скорости ветра из флуктуаций изображения подсвеченной лазерным пучком диффузной мишени. Предложен алгоритм обработки видеоизображений, основанный на построении пространственно-временной корреляционной функции флуктуаций интенсивности излучения, рассеянного на мишени. Сопоставляются результаты измерений скорости ветра предложенным методом и с помощью акустических анемометров на полигоне БЭК ИОА СО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-42-700005 p_a).

АДАПТИВНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ НАЧАЛЬНЫХ АБЕРРАЦИЙ ПО СИГНАЛУ ОБРАТНОГО АТМОСФЕРНОГО РАССЕЯНИЯ В СООСНОЙ СХЕМЕ С МАЛОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ АПЕРТУРОЙ

В.В. Кусков^{1,2}, В.А. Банах¹, Е.В. Гордеев¹

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

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

При формировании мощных лазерных пучков происходит неконтролируемый нагрев оптических элементов, приводящий к начальным абберрациям волнового фронта распространяющегося лазерного пучка. В [1] было предложено использование обратно-рассеянного в атмосфере излучения для выработки полезного сигнала управления корректором волнового фронта. Представляются результаты эксперимента по компенсации собственных абберраций волнового фронта с использованием метода апертурного зондирования по сигналу обратного атмосферного рассеяния от дополнительного лазерного источника. Применялась соосная схема с малой передающей и большой приемной апертурами. Контроль качества коррекции оценивался по усилению эхо-сигнала, датчиком волнового фронта Шака–Гартмана и двумерному распределению интенсивности на экране в конце трассы распространения. Показано, что в ходе адаптивной работы происходит значительное снижение искусственно введенных абберраций волнового фронта основного лазерного пучка.

1. Zhmylevskii V.V., Ignatiev A.B., Konyaev Yu.A., et al. // Abstr. XI Joint Int. Symp. «Atmospheric and Ocean Optics».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПРОПИТОК НА ЗАЖИГАНИЕ И ОБУГЛИВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИК-ТЕРМОГРАФИИ

Д.П. Касымов^{1,2}, М.В. Агафонцев^{1,2}, В.В. Рейно², А.А. Герасимова¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
denkasyimov@gmail.com

Наиболее перспективным способом повышения свойств древесины, в том числе долговечности, прочности, огнестойкости, и т.д., является ее пропитка различными веществами. В настоящей работе экспериментально проанализировано влияние различных огнезащитных составов на пожароопасные свойства образцов древесных строительных материалов (ориентированно-стружечная панель, фанера, древесно-стружечная панель, а также хвойные сорта древесины) в зависимости от способа обработки. В качестве способа пропитки использовалась вакуумная пропитка древесины, а также поверхностная обработка с помощью кисти.

Принципиально новым подходом является применение высокоточных инфракрасных камер научного класса при оценке пожароопасности строительных материалов из древесины в условиях пожара. В результате проведено экспериментальное исследование влияния мощности теплового потока на характеристики воспламенения и обугливания древесных строительных материалов с применением бесконтактных методов ИК-диагностики в узких спектральных диапазонах инфракрасных длин волн [1].

Определены скорости обугливания, а также величина глубины обугливания образцов в зависимости от сорта древесины, а также типа применяемого огнезащитного состава. Вакуумная обработка древесины, при выбранных параметрах эксперимента, обеспечивает высокую огнестойкость материала, что выражается в уменьшении глубины обугливания более чем в два раза по сравнению с аналогичным материалом с поверхностной обработкой. Было установлено, что при нанесении на материал огнезащиты происходил сдвиг границы температурного интервала стадии активного пиролиза без появления пламенного горения, что повлияло на время зажигания.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 18-79-00232).

1. Касымов Д.П., Агафонцев М.В., Перминов В.В., Рейно В.В., Мартынов П.С. Исследование влияния мощности теплового потока на характеристики воспламенения и обугливания древесных строительных материалов с применением методов ИК-диагностики // Вестн. Томск. гос. ун-та. Математика и механика. 2019. № 59. С. 65–78. DOI: 10.17223/19988621/59/7.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛУНАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ

М.В. Агафонцев^{1,2}, Е.В. Гордеев², Д.П. Касымов^{1,2}, А.Е. Литвинова^{1,2}, Е.Л. Лобода^{1,2}, Ю.А. Лобода^{1,2}, П.С. Мартынов^{1,2}, В.В. Рейно², В.А. Такраканова^{1,2}, С.В. Яковлев²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
loboda@mail.tsu.ru, denkasyimov@gmail.com, kim75mva@gmail.com, reyno@iao.ru, ysv@iao.ru

Представлены результаты полунатурных исследований возникновения и распространения степного пожара и его воздействия на модель строения из горючих строительных материалов, а также механизмов и характеристик распространения фронта пожара, его влияния на метеопараметры и выброс аэрозолей. Эксперименты проводились на территории Базового экспериментального комплекса ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН. Для регистрации полей температур в пламени и на поверхности модели постройки применялись как традиционные термометрические методы, так и термография с помощью тепловизора JADE J530SB с узкополосными оптическими фильтрами средневолнового ИК-диапазона. Для контроля метеопараметров использовался комплекс из ультразвуковых метеостанций АМК-03.

В результате исследований были получены поля температуры в пламени, изучена динамика температуры поверхности и воспламенения модели постройки из горючих строительных материалов при тепловом воздействии фронта пожара, а также проанализировано изменение метеопараметров. На основе анализа полей температуры в пламени и методики [1] даны оценки размеров крупных турбулентных структур, подающихся идентификации, во фронте пожара.

1. Loboda E.L., Matvienko O.V., Vavilov V.P., Reyno V.V. Infrared thermographic evaluation of flame turbulence scale // Infrared Physics & Technology. 2015. V. 72. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.infrared.2015.07.001.

ТУРБУЛЕНТНЫЙ ЛИДАР – ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

И.А. Разенков

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

Аэрозольный турбулентный лидар работает на эффекте увеличения обратного рассеяния (УОР), когда прошедшее из атмосферы излучение регистрируется приемной апертурой, внутри которой расположена апертура лазерного пучка [1]. Обязательным условием использования УОР является накопление эхосигналов, один из которых основной, подверженный влиянию турбулентности, а второй дополнительный, необходимый для нормировки эхосигнала основного приемного канала [2].

Рассматривается проблема выбора оптимальных параметров лидарного приемопередатчика и системы регистрации эхосигналов в зависимости от условий эксперимента, таких как: требуемая частота обновления информации; работа днем или ночью; необходимая дальность зондирования и проч.

С целью повышения достоверности получаемой информации анализируется и применяется известный локационный способ зондирования методом наклонных трасс.

Приводятся результаты зондирования атмосферного пограничного слоя атмосферы, когда одновременно и непрерывно регистрируются как коэффициенты аэрозольного рассеяния, так и интенсивность «оптической» турбулентности, представленная оценкой структурной характеристики C_n^2 .

Работа выполнена по проекту фундаментальных исследований РАН № АААА-А17-117021310149-4.

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. Разенков И.А. Турбулентный лидар. I. Конструкция // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 1. С. 41–48.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ В АРКТИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЕ»

ВЗАИМОСВЯЗИ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ИЗМЕРЕННЫХ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АРКТИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЫ

В.В. Полькин¹, В.С. Козлов¹, В.И. Макаров², С.А. Попова², В.Ф. Радионов³, С.М. Сакерин¹, Д.Г. Чернов¹

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

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

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

Актуальной задачей последнего времени являются исследования характеристик атмосферного аэрозоля и его поглощающих свойств в высокоширотных районах, где наблюдаются самые большие изменения климатической системы. Сложный физико-химический состав аэрозоля предопределяет необходимость использования различных методов и средств измерений, которые имеет свои ограничения и недостатки. Поэтому важное значение имеет совместный анализ изменчивости характеристик аэрозоля, полученных разными методами. К числу таких характеристик можно отнести: (а) счетные концентрации частиц и массовые концентрации сажи в составе аэрозоля, которые измеряются счетчиками частиц и аэталометрами; (б) массовые концентрации аэрозоля (PM), содержание в нем элементного (EC) и органического (OC) углерода, которые определяются различными методами в пробах аэрозоля, отобранных на фильтры. Совместный анализ позволяет выявить причины различий в поведении той или иной характеристики и получить более достоверные данные о составе аэрозоля и факторах его изменчивости.

В предшествующих работах обсуждались особенности пространственно-временной изменчивости аэрозоля по отдельным характеристикам, районам и экспедициям. В данном случае, основное внимание уделяется взаимосвязям различных характеристик атмосферного аэрозоля. В анализе используется совместный массив данных, полученных в 2018–2019 гг. в нескольких районах Арктики: на двух полярных станциях («Мыс Баранова», «Баренцбург») и на маршруте трех морских экспедиций – на НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Северная Атлантика и Баренцево море), «Профессор Мультановский» (от Чукотского до Баренцева моря) и «Академик Трешников» (дрейф во льдах на севере Баренцева моря).

ТЕСТИРОВАНИЕ АЭТАЛОМЕТРА АЕ-33 И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОМЕХ

Ю.С. Турчинович, А.О. Почуфаров, С.М. Сакерин, Д.Г. Чернов, В.П. Шмаргунов

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

Арктическая атмосфера отличается низкими концентрациями поглощающего вещества (сажи) в составе аэрозоля и сложными условиями эксплуатации научного оборудования, которые могут повлиять на результаты измерений. Весной 2020 г. проведены тестовые измерения концентраций сажи двумя типами приборов: ранее используемого МДА-02 и нового аэталометра АЕ-33. Указанные приборы имеют отличия в методике (режиме) измерений концентраций сажи, определяемых сигналами почернения фильтров за определенное время. Поэтому задача тестового эксперимента состояла в оценке различий регистрируемых концентраций и выработке рекомендаций для адекватного перехода к измерениям новым аэталометром.

Особенностью аэталометра АЕ-33 является малая продолжительность единичного замера (не более 1 мин), в сравнении с МДА-02 (20 мин). Вследствие малой экспозиции, эпизодически регистрируются отрицательные значения концентраций, которые обусловлены различными шумовыми помехами и искажающими воздействиями (изменение температуры, увлажнение/обсыхание фильтров и др.). В докладе обсуждаются результаты численного моделирования влияния различных помех и их совокупности на измеряемую концентрацию сажи.

Проводится сравнение различных подходов расчета средних концентраций (за 20 и 60 мин) и выбирается оптимальный подход, который обеспечивает минимальное отличие от истинного (неискаженного) значения концентрации.

АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ И СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ

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

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

В измерениях характеристик аэрозоля и солнечной радиации в морских и арктических экспедициях используется широкий круг разнородных приборов, обслуживание которых, как правило, осуществляется одним оператором. В состав экспедиционного оборудования обычно входят: счетчик частиц аэрозоля, аэталометр, устройства отбора проб аэрозоля на фильтры, солнечный фотометр и Датчик Солнца (ДС). Кроме того, для пространственной привязки результатов измерений используется GPS-модуль, регистрирующий текущие координаты научного судна или дрейфующей станции.

В докладе обсуждаются результаты разработки вспомогательных аппаратурно-программных средств, направленных на повышение эффективности экспедиционных исследований. Программные разработки включают: (а) расчеты зенитных углов Солнца по данным GPS приемника; (б) расчеты порога срабатывания ДС эквивалентного стандартным измерителям продолжительности солнечного сияния; (в) расчеты текущего порога срабатывания ДС для включения/выключения солнечного фотометра при заданной пороговой величине вертикальной прозрачности атмосферы; (г) электронный журнал отбора проб аэрозоля с привязкой к географическим координатам, регистрируемых GPS-модулем. По аппаратурной части представлены: (а) GPS-модуль, адаптированный для совместной работы с аэталометром и счетчиком частиц аэрозоля; (б) результаты лабораторных и натурных испытаний микропроцессорного ДС при различных углах прихода прямой солнечной радиации.

Работа выполнялась в рамках госзадания ИОА СО РАН – проект № АААА-А17-117021310142-5.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ДВУХ ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ В 2019–2020 гг.

**Д.Г. Чернов¹, Д.М. Кабанов¹, В.С. Козлов¹, И.А. Круглинский^{1,2}, В.В. Мовчан³,
В.Ф. Радионов³, Д.Д. Ризе³, С.М. Сакерин¹, Ю.С. Турчинович¹**

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

В 2020 г. продолжен мониторинг оптических и микрофизических характеристик аэрозоля на двух полярных станциях: в пос. Баренцбург (арх. Шпицберген) наблюдения ведутся с 2011 г., на «Ледовой базе «Мыс Баранова» (о-в Большевик, арх. Северная Земля) – с 2018 г. В состав измеряемых характеристик входят счетные концентрации частиц, массовые концентрации поглощающего вещества (сажи) в составе аэрозоля и аэрозольная оптическая толщина атмосферы.

В докладе обсуждаются статистические характеристик аэрозоля на двух станциях и особенности изменчивости за последний год измерений (с осени 2019 г.). Проводится сравнительный анализ среднемесячных значений характеристик аэрозоля с аналогичными данными в два предшествующих года измерений и средними многолетними (2011–2019 гг.) данными в Баренцбурге [1, 2].

Работа выполнялась в рамках госзадания ИОА СО РАН – проект № АААА-А17-117021310142-5.

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Круглинский И.А., Лубо-Лесниченко К.Е., Радионов В.Ф., Сидорова О.Р. Сезонная и межгодовая изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы в 2011–2019 гг. в Баренцбурге (арх. Шпицберген) // Оптика атмосфер. и океана. Физика атмосферы: Мат-лы XXVI Междунар. симпоз. (в печати).
2. Чернов Д.Г., Козлов В.С., Лубо-Лесниченко К.Е., Радионов В.Ф., Сакерин С.М., Сидорова О.Р. Сезонная и межгодовая изменчивость концентраций аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы Баренцбурга (арх. Шпицберген, 2011–2019 гг.) // Оптика атмосфер. и океана. Физика атмосферы: Мат-лы XXVI Междунар. симпоз. (в печати).

ОБЗОР ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОЗОЛЯ В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЙ (2019–2020 гг.) И ПЛАНЫ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ

С.М. Сакерин

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

В сотрудничестве нескольких организаций (ИОА, ЛИИ, ИХКГ, ИМКЭС СО РАН и ААНИИ) продолжены исследования комплекса физико-химических характеристик атмосферного аэрозоля в высокоширотных районах северного и южного полушарий: в п. Баренцбург (арх. Шпицберген), «Ледовой базе «Мыс Баранова» (арх. Северная Земля), антарктической обсерватории «Мирный», а также в морских экспедициях в Северном Ледовитом и Южном океанах. В докладе представлен обзор работ, выполненных в полярных районах за последний год (с осени 2019 г.), и планы участия в новых арктических экспедициях и проектах.

ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АРКТИЧЕСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ НА СТАНЦИЯХ «МЫС БАРАНОВА» И «БАРЕНЦБУРГ»

С.А. Попова¹, В.И. Макаров¹, О.В. Чанкина¹, В.И. Шпартко¹,
Ю.С. Турчинович², В.Ф. Радионов³

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*

Представлены материалы экспериментальных исследований изменчивости массовой концентрации аэрозоля, органического/элементного углерода и элементного состава аэрозолей на полярных станциях «мыс Баранова» и «Баренцбург» 2018–2020 гг. В докладе показана сезонная изменчивость основных характеристик аэрозоля, а также их сравнение с данными, полученными в ходе двух морских экспедиций «Трансарктика-2019». Сравнительный анализ экспедиционных данных с результатами мониторинга аэрозольных характеристик Новосибирской области дают возможность оценить степень аэрозольного загрязнения Арктики, роль природных и антропогенных источников в формировании аэрозольного вещества.

Работа выполнена в рамках Подпрограммы 4 «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Арктике и Антарктике» государственной программы РФ «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ВЗАИМОСВЯЗИ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ, ИЗМЕРЕННЫХ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ И ВО ВСЕЙ ТОЛЩЕ АТМОСФЕРЫ НАД СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНОМ

Д.М. Кабанов¹, В.В. Польшкин¹, В.Ф. Радионов², С.М. Сакерин¹, Д.Г. Чернов¹

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

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

Начиная с 2010 г. нами ведутся ежегодные измерения аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы и приземных концентраций аэрозоля на Российских полярных станциях и в арктических экспедициях на научных судах. На основе многолетних рядов наблюдений, в докладе рассмотрены два вопроса: (а) особенности среднего пространственного распределения характеристик аэрозоля над Северным Ледовитым океаном; (б) взаимосвязи между АОТ и приземными концентрациями аэрозоля в арктической зоне России и в ее отдельных районах.

Анализ взаимосвязей и пространственного распределения характеристик аэрозоля проводится отдельно для мелко- и грубодисперсной фракций, учитывая их разную природу происхождения и трансформации в атмосфере. В отличие от [1, 2], где уже обсуждались средние характеристики аэрозоля над арктическими морями, в данном случае анализируются не счетные концентрации, а объемы частиц в диапазоне размеров двух фракций. Использование объемов частиц, пропорциональных массовым концентрациям аэрозоля, позволяет более

адекватно оценивать их взаимосвязи с двумя компонентами АОТ, а также пространственно-временную изменчивость различных характеристик.

Работа выполнялась в рамках госзадания ИОА СО РАН – проект № АААА-А17-117021310142-5.

1. Радионов В.Ф., Кабанов Д.М., Польшкин В.В., Сакерин С.М., Изосимова О.Н. Характеристики аэрозоля над арктическими морями Евразии: результаты измерений 2018 года и среднее пространственное распределение в летне-осенние периоды 2007–2018 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. № 4. С. 405–421.
2. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Польшкин В.В., Почуфаров А.О., Радионов В.Ф., Ризе Д.Д. Вариации оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля в экспедициях «Трансарктика-2019» // Тезисы докладов XXVI Междунар. симпоз. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы», 6–10 июля 2020, Москва.

ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ ЮЖНОГО И СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЙ

Д.М. Кабанов¹, И.А. Круглинский^{1,2}, В.Ф. Радионов³, С.М. Сакерин¹

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

Обсуждаются результаты измерений аэрозольной оптической толщи атмосферы (АОТ), выполненных на двух полярных станциях: Мирный (Антарктида) и пос. Баренцбург (арх. Шпицберген). Измерения АОТ атмосферы в Мирном были начаты в 1979 г., а с 2013 г. выполняются с помощью солнечного фотометра SPM. В пос. Баренцбург измерения АОТ проводятся с 2011 г.

Отмечается, что средний уровень замутнения атмосферы в Баренцбурге в ~3,5 раза выше чем на ст. Мирный ($\overline{\tau}_{0,5}^a = 0,080$ и $0,023$ соответственно). В арктическом районе основную роль в изменчивости АОТ атмосферы играет мелкодисперсный аэрозоль. В колебаниях АОТ атмосферы Антарктики вклад мелко- и грубодисперсной фракций аэрозоля сопоставим.

Общим в сезонном ходе для двух регионов является весенний максимум. Из-за влияния континентального аэрозоля, в том числе дымового, в Баренцбурге проявляется и летний максимум, который в отдельные годы может превышать весенний.

Работа выполнялась в рамках госзадания ИОА СО РАН (проект № АААА-А17-117021310142-5).

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЕЙ В ЭКСПЕДИЦИЯХ «ТРАНСАРКТИКА-2019»

С.А. Попова¹, О.В. Чанкина¹, В.И. Шпартко¹, С.М. Сакерин²,
В.И. Макаров¹, Д.Д. Ризе³, А.О. Почуфаров²

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

³Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
popova@kinetics.nsc.ru

Представлены материалы экспериментальных исследований изменчивости массовой концентрации аэрозоля, органического/элементного углерода и элементного состава аэрозолей в ходе двух экспедиций в рамках проекта «Трансарктика-2019». Первая экспедиция (дрейф во льдах Баренцева моря на базе НЭС «Академик Трешников») проводилась с 28 марта по 4 мая 2019 г. Маршрут второй экспедиции, на базе НИС «Профессор Мультиановский», проходил от Владивостока до Мурманска с 25 июля по 8 сентября 2019 г. В докладе показано сравнение основных характеристик аэрозоля с данными, полученными в ходе морской экспедиции в 2018 г. на НИС «Мстислав Келдыш».

Работа выполнена в рамках Подпрограммы 4 «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Арктике и Антарктике» государственной программы РФ «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 годы.

КРУГЛЫЙ СТОЛ

«ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ: МЕТОДЫ, АППАРАТУРА, ИССЛЕДОВАНИЯ»

ВОЗМОЖНОСТИ АЭРОЗОЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ЛИДАРА

И.А. Разенков

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

Работа аэрозольного турбулентного лидара основана на эффекте увеличения обратного рассеяния (УОР), когда обратно рассеянные атмосферными частицами электромагнитные волны оптического диапазона складываются когерентно на приемо-передающей апертуре [1]. После усреднения эхосигнала можно выделить пик УОР, который можно воспринимать как увеличение индикатрисы в направлении назад или повышение сечения рассеяния. Пик УОР представляет собой добавку к известному лидарному сигналу рассеяния, величина которой зависит от интенсивности атмосферной турбулентности [2].

Был поставлен лидарный эксперимент, в котором изучался пик УОР в зависимости от размеров лазерного пучка и приемных апертур. Дело в том, что увеличении приемной апертуры пик УОР размывается на общем фоне повышения эхосигнала. И, наоборот, при уменьшении приемной апертуры снижается потенциал лидара, когда падает дальность зондирования. Если снижение потенциала лидара компенсировать временем накопления, то при этом теряется информация о «тонкой» структуре изучаемых аэрозольных полей.

Проведенные исследования позволили лучше понять как турбулентный лидар работает; определить оптимальные характеристики приемо-передатчика; оценить его чувствительность к интенсивности турбулентности при работе в дневное и ночное время; определить рабочий интервал расстояния от лидара, когда данные имеют приемлемую точность; выбрать оптимальное время для накопления данных.

Работа выполнена по проекту фундаментальных исследований РАН № АААА-А17-117021310149-4.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБТЮРАТОРА В СИСТЕМЕ ФОТОРЕГИСТРАЦИИ ЛИДАРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ФЭУ

С.М. Бобровников, В.И. Жарков, А.И. Надеев, Д.А. Трифонов

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

Первые измерения температуры атмосферы комбинированным методом показали не совершенство работы системы фоторегистрации. Это отражалось в очень интенсивном лидарном сигнале в канале молекулярного рассеяния в диапазоне высот от 2 до 35 км, что в свою очередь приводило к ошибке восстановления профиля температуры методом молекулярного рассеяния во всем высотном интервале зондирования. Для решения этой проблемы был изменен канал фоторегистрации молекулярного рассеяния с целью защиты фотоприемника от мощного лидарного сигнала обратного рассеяния, путем внедрения в него механического обтюратора.

В данной работе показана блок-схема измененной системы фоторегистрации сигнала молекулярного рассеяния лидарного комплекса Сибирской Лидарной Станции. Продемонстрирована оптическая система измененного канала молекулярного рассеяния с внедренным механическим обтюратором. Экспериментально апробирована возможность использования механического обтюратора на основе жесткого магнитного диска [1] для отсеки мощного лидарного сигнала до высоты 35 км с временем полного открывания секторного выреза пути для светового пучка диаметром 1,5 мм равным 55 мкс.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-1378.2019.5

1. *Шелефонтьок Д.И.* Механический обтюратор света на основе жесткого магнитного диска // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 3. С. 131–135.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО ЛИДАРА «ЛОЗА-А2» ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРУЕМОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ МОРЕЙ

**И.Э. Пеннер, Ю.С. Балин, Г.П. Коханенко, М.Г. Клемашева, С.И. Насонов,
М.М. Новоселов, А.И. Надеев, О.А. Рынков**

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

Мобильный лидар «ЛОЗА-А2», предназначенный для контроля аэрозольных и облачных полей тропосферы, является продолжением разработок малогабаритных аэрозольно-рамановских лидаров серии «ЛОЗА-М» [1]. Особенности его конструкции дают возможность проведения измерений с борта самолета-лаборатории. При этом сохранены его основные функциональные характеристики, определяемые многочастотным методом зондирования на двух длинах волн излучения твердотельного лазера YAG:Nd 1064 и 532 нм. Регистрация сигналов упругого обратнорассеянного излучения производится в двух отдельных оптических каналах на соответствующих длинах волн, дополнительно в канале 532 нм производится регистрация на смещенной длине волны 607 нм спонтанного комбинационного рассеяния на молекулах азота. Для расширения информативности данных зондирования с борта самолета, при исследовательских полетах над водными поверхностями, в оптическом канале на 1064 нм дополнительно производится регистрация полос спектра флуоресценции поверхностного слоя воды, возбуждаемого на длине волны излучения 532 нм. Восстанавливаемые оптические характеристики, с учетом анализа состояния поляризации и спектров флуоресценции обратнорассеянного излучения, позволяют на высоком исследовательском уровне проводить экологический контроль промышленных и смоговых загрязнений, а также пространственное картирование распределения этих загрязнителей на акватории исследуемых районов.

1. Балин Ю.С., Байрашин Г.С., Коханенко Г.П., Клемашева М.Г., Пеннер И.Э., Самойлова С.В. Аэрозольно-рамановский лидар «ЛОЗА-М2» // Квант. электрон. 2011. Т. 41, № 10. С. 945–949.

АЭРОЗОЛЬНЫЕ СЛОИ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ ВЛАЖНОСТИ В ТРОПОСФЕРЕ

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

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

В период с 2011 по 2017 г. на территории Академгородка проводились комплексные эксперименты по лидарному зондированию атмосферы, сопровождавшиеся запуском метеорологических зондов. Всего было проведено 45 сеансов радиозондирования с использованием радиозондов Vaisala R92SGP в дневное и ночное время. При сравнении вертикальных профилей влажности и коэффициента обратного рассеяния видно, что в большинстве случаев аэрозольные слои присутствуют на высотах, где наблюдается локальное повышение относительной влажности. Однако в 10 случаях из 45 расположение аэрозольных слоев на записях не совпадает с положением влажных слоев. В докладе приводятся несколько примеров таких записей, обсуждаются возможные условия возникновения подобных явлений.

Работа выполнена в рамках госзадания ИОА СО РАН (рег. № проекта АААА-А17-117021310142-5) и при поддержке гранта РФФИ № 19-48-700014-р.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ В СЛУЧАЙНЫХ СРЕДАХ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОРНОМ 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*

Представлены новые результаты измерений вертикальной производной средней температуры турбулентной атмосферы в горном пограничном слое. Измерения были произведены в июле–августе 2019 г. в горном районе Саянской солнечной обсерватории (ССО) Института солнечно-земной физики СО РАН. Эти измерения являются продолжением предыдущих исследований авторов статьи, посвященных экспериментальному изучению пространственных производных средних характеристик атмосферной турбулентности над территориями горных обсерваторий. Для измерений использован новый мобильный аппаратно-программный ультразвуковой комплекс АМК-03-4, разработанный для измерения статистических характеристик различных метеополей в турбулентной атмосфере и их пространственных производных. В работе предложен новый усовершенствованный алгоритм определения и устранения систематических ошибок при вычислении производных из полученных экспериментальных данных.

Показано, что при больших (по модулю) отрицательных числах Мони́на–Обухова вертикальная производная средней температуры близка к отрицательной постоянной величине, а при больших положительных числах – к положительной постоянной. Этот результат подтверждает данные наших измерений 2018 г. и дополняет их. Особенный интерес представляют данные в области положительных чисел Мони́на–Обухова (соответствующей устойчивой стратификации), для которой поведение производных ранее не было исследовано (и отсутствуют данные в мировой научной литературе). Поэтому данные измерений 2019 г. можно рассматривать как подтверждение нового значимого результата в теории подобия Мони́на–Обухова.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (АААА-А17-117021310146-3) и проектом № 20-17-00187 РФФ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ В ГОРНОМ 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*

Представлены новые результаты измерений вертикальной производной средней скорости ветра турбулентной атмосферы в горном пограничном слое. Измерения были произведены в июле–августе 2019 г. в горном районе Саянской солнечной обсерватории (ССО) Института солнечно-земной физики СО РАН. Эти измерения являются продолжением предыдущих исследований авторов статьи, посвященных экспериментальному изучению пространственных производных средних характеристик атмосферной турбулентности над территориями горных обсерваторий. Для измерений использован новый мобильный аппаратно-программный ультразвуковой комплекс АМК-03-4, разработанный для измерения статистических характеристик метеополей в турбулентной атмосфере и их пространственных производных. В работе предложен новый усовершенствованный алгоритм определения и устранения систематических ошибок при вычислении производных из полученных экспериментальных данных.

Интерес представляют полученные новые данные в области положительных чисел Монина–Обухова (устойчивая стратификация), для которой поведение производных ранее не было исследовано (отсутствуют сведения в мировой научной литературе). Поэтому данные измерений 2019 г. можно рассматривать как новый значимый результат в теории подобия Монина–Обухова.

Исследования поддержаны проектом II.10.3.5 (AAAA-A17-117021310146-3) и проектом № 20-17-00187 РФФ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИИ ПОДОБИЯ В ГОРНОМ 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*

Представлены новые результаты измерений характеристик универсальной функции подобия. В теории подобия Монина–Обухова этой функцией (в зависимости от значения ее аргумента – числа Монина–Обухова) задается тип температурной стратификации турбулентной атмосферы. Представлены экспериментальные коэффициенты в асимптотических зависимостях функции $\varphi(\zeta)$ соответственно для областей неустойчивой и устойчивой стратификаций. Наши измерения подтверждают вид функции подобия, сформулированный для нее в традиционной теории подобия Монина–Обухова. Зарегистрированные нами отличия коэффициентов при одинаковых степенных зависимостях (соответствующих устойчивой и неустойчивой стратификациям) находятся в рамках погрешностей измерений. Выполненные в настоящей работе комплексные исследования функции подобия (на основе данных наших измерений 2018–2019 гг.), можно рассматривать как новый значимый результат в теории подобия Монина–Обухова.

Исследования поддержаны проектом II.10.3.5 (AAAA-A17-117021310146-3) и проектом № 20-17-00187 РФФ.

ФЛУКТУАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ГОРОДА ТОМСКА. ВЕКОВОЙ СПЕКТР

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

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

Представлены новые результаты построения временного частотного спектра флуктуаций температуры воздуха для расширенного временного диапазона от микрометеорологического до внутривекового интервала для г. Томска за период наблюдений 138,5 лет. Диапазон временных частот спектра занимает 12 порядков – от $2,288 \cdot 10^{-10}$ Гц до $8 \cdot 10^1$ Гц. Спектр составлен из трех смежных интервалов. В качестве источников данных измерений использованы: 1) базы данных ежедневных измерений температуры воздуха и количества осадков, 2) база данных восьмисрочных наблюдений за основными метеорологическими параметрами, 3) собственные данные измерений флуктуаций температуры воздуха с применением ультразвуковой метеосистемы АМК-03. Результаты проведенных исследований подтверждают известный из литературы вид спектра флуктуаций температуры.

Исследования поддержаны проектом II.10.3.5 (AAAA-A17-117021310146-3) и проектом № 20-17-00187 РФФ.

ФЛУКТУАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В АТМОСФЕРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ГОРОДА ЦИМЛЯНСКА. ВЕКОВОЙ СПЕКТР

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

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

Представлены новые результаты построения временного частотного спектра флуктуаций температуры воздуха для временного диапазона от мезометеорологического до внутривекового интервала для г. Цимлянска за период наблюдений 67 лет (1952 по 2019 г.). Диапазон временных частот спектра от $4,7 \cdot 10^{-10}$ до $4,6 \cdot 10^{-5}$ Гц.

Спектр составлен из двух смежных интервалов. В качестве источников данных измерений использованы база данных ежедневных измерений температуры воздуха и количества осадков и база данных восьмисрочных наблюдений за основными метеорологическими параметрами. Результаты проведенных исследований подтверждают известный из литературы вид спектра флуктуаций температуры.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (АААА-А17-117021310146-3) и проектом № 20-17-00187 РФФ.

ТРАЕКТОРИИ СМЕЩЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ПУЧКЕ, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕМСЯ В НЕИСКАЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

И.Д. Веретехин, Ф.Ю. Канев

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

Особые точки, находящиеся в волновом фронте отраженного от объекта излучения, могут быть использованы для определения пространственных координат и формы этого объекта [1] или для характеристики скорости протекания физических процессов [2]. Возникающие при этом проблемы связаны с тем, что дислокации в пучке, проходящем некоторое расстояние от объекта до приемника, смещаются, а в некоторых случаях аннигилируют при взаимодействии друг с другом.

Для определения положения особых точек нами были разработаны четыре алгоритма, основанных на различных оптических принципах, проведена оценка их точности. Кроме этого, сделана попытка прогнозирования смещений дислокаций от их зарегистрированного в некоторый момент времени положения, т.е. определение будущих или пройденных траекторий по распределению вихрей в некоторой плоскости. В докладе показано, что прогнозирование траекторий позволяет определить их координаты в пучке непосредственно после отражения и обеспечивает повышение точности регистрации координат и формы объекта.

1. *Wei Wang, Yu Qiao, Reika Ishijima, Tomoaki Yokozeki, Daigo Honda, Akihiro Matsuda, Steen G.H., Mitsuo Takeda // Opt. Express. 2008. V. 16, N 18 P. 13908–13917.*
2. *Xinzhong Li, Yuping Tai, Liping Zhang, Huijuan Li, Liben Li // Appl. Phys. B. 2014.V. 116. P. 901–909.*

АНАЛИЗ РЕКОНСТРУКЦИИ ИСКАЖЕННОГО АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТЬЮ ВОЛНОВОГО ФРОНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ

М.А. Кучеренко, В.В. Лавринов, Л.Н. Лавринова

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
xardthis@mail.ru, lvv@ioa.ru, lnl@ioa.ru*

Реконструкция волнового фронта, искаженного атмосферной турбулентностью, выполняется по измерениям датчика волнового фронта [1, 2]. Датчик Шака–Гартмана состоит из микролинзового растра и видеокамеры, при этом плоскость светочувствительной матрицы видеокамеры совмещена с фокальной плоскостью микролинз, а сам микролинзовый растр установлен в плоскости выходного зрачка телескопа. Поэтому важной задачей является согласование параметров преобразующего световое поле телескопа с параметрами линзового растра, делящего световое поле на парциальные пучки. В экспериментах по распространению оптического излучения на горизонтальных трассах для комплектации датчика, в частности, для подбора линзового растра, важными характеристиками являются разрешающая способность (ограничение по дифракции) и угловое увеличение (наибольший угол видения объекта) телескопа, а также центральное экранирование в схеме телескопа.

В данной работе представлены результаты численных исследований точности реконструкции волнового фронта, искаженного атмосферной турбулентностью, с учетом передаточных функций между телескопом и датчиком, между растром и светочувствительной матрицей приемного устройства.

1. *Kucherenko M.A., Lavrinov V.V., Lavrinova L.N. Influence of volume and quality of the recorded information in a sensor of Hartman type on the accuracy of the wavefront reconstruction // Proc. SPIE. 2019. V. 11208. 11208 10. DOI: 10.1117/12.2539295.*
2. *Kucherenko M.A., Lavrinov V.V., Lavrinova L.N. Measurement of wavefront by sensors of Hartmann type with multilens rasters // Proc. SPIE. 2018. V. 10833. CID: 10833 2F. DOI: 10.1117/12.2504562.*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗОНАЛЬНОГО И МОДАЛЬНОГО ПОДХОДОВ К РЕКОНСТРУКЦИИ ВОЛНОВОГО ФРОНТА ПО ЛОКАЛЬНЫМ НАКЛОНАМ

Д.В. Казаков, В.В. Лавринов, Л.Н. Лавринова

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
den-kazakov-1995@mail.ru, lvv@iao.ru, lnl@iao.ru*

Одним из вопросов адаптивной оптики является определение эффективности алгоритмов фазовой коррекции, которая предполагает измерение фазы и построение фазовой поверхности. Принцип работы любого датчика волнового фронта основан на измерениях интенсивности. Предварительно над световым полем выполняется некоторое преобразование (дифракционное или интерференционное), далее картина распределения интенсивности подвергается математическому анализу, результатом которого и является искомая оценка двумерного распределения фазы. Задача измерения волнового фронта выполняется с помощью алгоритмов центрирования фокальных пятен [1, 2]. В задаче построения волнового фронта существуют две основные идеологии математического анализа: модальная, либо зональная.

В данной работе представлены результаты исследований эффективности реконструкции волнового фронта по локальным наклонам, измеренным датчиком волнового фронта Шака–Гартмана, на основе зональной и модальной идеологий. Исследования выполнены посредством численных экспериментов в зависимости от параметров оптической части датчика, интенсивности турбулентных искажений оптического излучения и характеристик распределения интенсивности на входной апертуре адаптивной оптической системы.

1. Kazakov D.V., Lavrinov V.V., Lavrinova L.N. Results of numerical testing of algorithms for centering of focal spots in a Shack–Hartmann wavefront sensor // Proc. SPIE. 2018. V. 10833. CID: 10833 2D. DOI: 10.1117/12.2504557.
2. Kazakov D.V., Lavrinov V.V., Lavrinova L.N. Using the statistical properties of phase fluctuations of the light field in a Shack–Hartmann wavefront sensor // Proc. SPIE. 2019. V. 11208. 11208 0Z. DOI: 10.1117/12.2539236.

ФАЗОВАЯ КОРРЕКЦИЯ КОГЕРЕНТНЫХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ 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 структурированных 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. Рассматриваются 2 варианта схемы АОС (с расположением бакена в начале трассы и в конце трассы). 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.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКИХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ НА РАЗНЫХ ВЫСОТАХ ДЛЯ БАО

А. Киселев¹, П.Г. Ковadlo¹, В.П. Лукин², А.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*

Анализируются результаты оценки турбулентных характеристик для отдельных высот в атмосфере, определяемых по данным измерений датчика Шака–Гартмана для Байкальской астрофизической обсерватории. Приведены вертикальные профили безразмерной характеристики турбулентных флуктуаций показателя преломления воздуха, определенные по данным измерений датчика волнового фронта.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-79-00061.

ВАРИАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КРОСС-КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ДРОЖАНИЮ СУБИЗОБРАЖЕНИЙ

А. Киселев¹, П.Г. Ковadlo¹, В.П. Лукин², А.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*

Для решения задачи по восстановлению вертикальных профилей оптической турбулентности и определения характеристик в метазрачке, сопряженной с плоскостью датчика волнового фронта Шака–Гартмана в втором плече системы адаптивной оптики Большого солнечного вакуумного телескопа используется метод S-DIMM+. В работе показаны результаты дистанционного восстановления безразмерных характеристик турбулентности. Обсуждаются изменения предельной высоты зондирования используемыми методами, включая S-DIMM+, Slodar, Slodar с временным смещением области перекрещивания световых пучков.

Работа выполнена в рамках гранта Президента МК-227.2019.8, гранта РФФИ № 19-79-00061.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЕНСАЦИИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ФАЗОВОГО И АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУЧКОМ

В.П. Лукин, П.А. Коляев, Ф.Ю. Канев

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

mpa@iao.ru

Представлены результаты численных исследований нескольких методов адаптивного управления пучком, распространяющимся на атмосферных трассах. В частности, рассмотрены такие методы коррекции искажений как фазовое сопряжение, обращение волнового фронта и амплитудно-фазовое управление пучком, реализованное при задании его фазы в двух плоскостях. При построении соответствующих расчетных схем учитывались ограничения, вносимые датчиком волнового фронта и упругим зеркалом. Оценки точности модели распространения излучения в атмосфере получены при сравнении данных численных и натуральных экспериментов.

Особое внимание в докладе уделяется анализу управления волновым фронтом в адаптивной системе, включающей два зеркала, разделенных промежутком неискажающей среды.

ТРАЕКТОРИИ СМЕЩЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ В ПУЧКЕ, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕМСЯ В НЕИСКАЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

И.Д. Веретехин, Ф.Ю. Канев, Н.А. Макенова

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

mpa@iao.ru

Особые точки, находящиеся в волновом фронте отраженного от объекта излучения, могут быть использованы для определения пространственных координат и формы этого объекта или для характеристики скорости протекания физических процессов. Возникающие при этом проблемы связаны с тем, что дислокации в пучке, проходящем некоторое расстояние от объекта до приемника смещаются, а в некоторых случаях аннигилируют при взаимодействии друг с другом.

Для определения положения особых точек нами были разработаны четыре алгоритма, основанных на различных оптических принципах, проведена оценка их точности. Кроме этого, сделана попытка прогнозирования смещений дислокаций от их зарегистрированного в некоторый момент времени положения, т.е. определение будущих или пройденных траекторий по распределению вихрей в некоторой плоскости. В докладе показано, что прогнозирование траекторий позволяет определить их координаты в пучке непосредственно после отражения и обеспечивает повышение точности регистрации координат и формы объекта.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОЙ КОРРЕКЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С КОНЕЧНЫМ БЫСТРОДЕЙСТВИЕМ

М.В. Волков, В.А. Богачев, Ф.А. Стариков, Р.А. Шнягин

*Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, г. Саров, Россия
wolf-87ph@yandex.ru*

Работа посвящена исследованию динамической фазовой коррекции искаженного атмосферной турбулентностью лазерного пучка в адаптивной оптической системе (АОС) с датчиком волнового фронта (ДВФ) Шака–Гартманна. Динамические фазовые искажения лазерного пучка, прошедшего слой с колмогоровской турбулентностью, моделировались на основе фазово-спектрального метода формирования случайно-неоднородного поля и модели авторегрессии со скользящим средним [1]. Средняя расходимость излучения по уровню 50% мощности в 14 раз больше дифракционной. Рассчитанный параметр Фрида, средний за 5 с, для $\lambda \approx 1$ мкм в 14 раз меньше размера пучка. Рассмотрен ДВФ Шака–Гартманна с 10×10 субапертур и исследована динамика центра тяжести лазерного пятна (центроида) в одной субапертуре. Найдено, что во временном спектре флуктуаций фазы лазерного пучка присутствует инерционный интервал со степенной зависимостью частоты $\sim \nu^{-5/3}$, что отвечает теоретическим представлениям и подтверждает адекватность выполненного моделирования динамики волнового фронта [2]. Получены критерии эффективности динамической адаптивной фазовой коррекции лазерного пучка, прошедшего слой турбулентной атмосферы. Определена связь пространственного разрешения адаптивного зеркала и ширины полосы АОС.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 09-02-01454, 12-02-00397-а).

1. *Коняев П.А.* Алгоритм моделирования динамической турбулентности в задачах атмосферной и адаптивной оптики // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 11. С. 948–951.
2. *Татарский В.И.* Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967. 548 с.

ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКЦИИ ФАЗОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИКИ ЛОЗ

Л.А. Больбасова, В.П. Лукин

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

Известно, что при применении техники лазерных опорных звезд (ЛОЗ) в астрономии возникает проблема коррекции общего наклона волнового фронта. Эта проблема, обычно, снимается применением для коррекции общего наклона волнового фронта сигнала от естественной звезды. Поскольку угол корреляции наклонов волнового фронта (изокинетический угол) при работе астрономического телескопа через всю толщу атмосферы может достигать сотен угловых секунд, возможно применение в качестве опорной естественной звезды, достаточно далеко отстоящей (в угловом смысле) от исследуемой звезды. Безусловно, это обстоятельство усложняет конструкцию системы адаптивной коррекции. Однако мы обнаружили, что возможна некая некоторая альтернатива.

Ввиду того, что ЛОЗ, как правило, формируется с помощью фокусированного лазерного пучка, направляемого из телескопа (с земли), с точки зрения дифракции волн она представляет собой сферическую волну со случайным центром. В таком представлении обычно рассчитываются остаточные искажения для высших аберраций фазовых флуктуаций. Расчет выполнен в приближении метода Гюйгенса–Френеля. Исследованы ограничения использования сигнала от такой ЛОЗ для фазовой коррекции всех аберраций.

Анализ полученных данных показывает, что дисперсия остаточных фазовых искажений в результате коррекции с использованием сигнала от ЛОЗ уменьшается примерно в 30 раз, что указывает на то, что имеет место коррекция всех модовых составляющих флуктуаций фазы, в том числе, и наклонов волнового фронта.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «КОСМИЧЕСКИЙ, СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ»

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕНЕРЫ И МАРСА НА ПРИМЕРЕ ВОДЯНОГО ПАРА

Б.А. Воронин

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

Методы спектроскопии являются очень важными для изучения состава и содержания газов в составе планет как солнечной системы, в том числе и Земли, так и экзопланет, т.е. планет вне солнечной системы.

Наиболее исследованными, конечно, являются планеты солнечной системы. Самая изученная – атмосфера Земли, хуже изучены атмосферы Венеры и Марса, и еще хуже атмосферы других планет и спутников газовых гигантов.

В последние годы появилось много спектроскопической информации высокого разрешения (Фурье-спектры с разрешением $0,1 \text{ см}^{-1}$ и выше), что ставит новые задачи перед спектроскопическим сообществом. Одним из основных веществ для человека является вода, который может быть детектирован как водяной пар в атмосферах планет. Интересно отметить, что различные параметры контура линий известны с различной точностью. Так известен центр линии поглощения изотопической линии водяного пара (HD^{16}O) измеренный с точностью 13 значащих цифр! Интенсивности линий поглощения измеряются точно в лучшем случае 1%, обычно 10–20%, иногда доходит до 50%. А ошибка в параметрах контура линии, таких как полуширина на полувысоте, может достигать 300% и более.

Атмосферы Венеры и Марса относятся к углекислым атмосферам и на 95–96% состоят из CO_2 . Поэтому основой ушоряющий газ не азот с кислородом, а углекислый газ. Из-за этого параметры уширения линии сильно отличаются на Венере и Марсе сильно отличаются от Земных, даже если условия по температуре сходные Земным, – это атмосфера Венеры выше уровня облаков (60–80 км) и экваториальная часть Марса.

Автор рассматривает проблемы и перспективы идентификации линий водяного пара, в частности на примере как уже выполненных работ [1, 2], так и ближайших перспектив.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-02-00462).

1. Lavrentieva N., Voronin B., Fedorova A. // Optika i Spektroskopiya. 2015. V 118(1). P. 13–20.

2. Lavrentieva N., Voronin B., Naumenko O., Bykov A., Fedorova A. // Icarus. 2014. V. 236. P. 38–47.

ПЕРВАЯ РЕГИСТРАЦИЯ МАГНИТНО-ДИПОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ОСНОВНОГО ИЗОТОПОЛОГА УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В РАЙОНЕ 3,3 мкм В АТМОСФЕРЕ МАРСА ИНСТРУМЕНТОМ Trace Gas Orbiter ACS КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ExoMars

А.Ю. Трохимовский¹, В.И. Перевалов², О.И. Кораблев¹, А.А. Федорова¹, К.S. Olsen^{3,4}, J.-L. Bertaux^{1,3},
А.С. Патракеев¹, А.В. Шакун¹, F. Montmessin³, F. Lefèvre⁵

¹Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

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

³LATMOS – UVSQ/UPMC/CNRS, Guyancourt, France

⁴University of Oxford, Oxford, UK

⁵LATMOS – UPMC/UVSQ/CNRS, Paris, France

vip@iao.ru

Атмосфера Марса, в основном состоящая из углекислого газа, является идеальной природной лабораторией для изучения спектров этой молекулы. Спектрометры высокого разрешения, входящие в состав Atmospheric Chemistry Suite (ACS), размещенного на космическом аппарате ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter (TGO), зондируют атмосферу Марса, используя излучение восходящего и заходящего Солнца. В случае чистой атмосферы

оптический путь достигает 300–400 км при эффективном давлении в несколько миллибар. В течение первого года исследований основные усилия были уделены метану. Для этого внимание было сосредоточено на диапазоне волновых чисел 2900–3300 см^{-1} , в котором лежит интенсивная фундаментальная полоса метана ν_3 . Присутствие метана в атмосфере Марса обнаружено не было. Однако была обнаружена неизвестная структура спектральных линий, напоминающая спектр либо линейной, либо двухатомной молекулы. Эта структура находится в идеальном согласии с теоретическими центрами линий магнитно-дипольной полосы 01111–00001 основного изотополога углекислого газа. Распределение интенсивности в линиях P -, Q - и R -ветвей также подтверждает обнаружение магнитно-дипольной полосы. Магнитно-дипольный момент перехода индуцируется возбуждением двукратно вырожденного колебания второй моды (колебательное квантовое число ℓ_2). Обнаруженная магнитно-дипольная полоса углекислого газа является первой демонстрацией важности вклада ядерного движения в магнитно-дипольный момент молекулы.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КВАНТОВОЙ ХИМИИ ДЛЯ ПРОВЕРКИ И УТОЧНЕНИЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ МЕТАНА И ФОРМАЛЬДЕГИДА

А. Родина¹, А. Никитин²

¹Лаборатория дистанционного зондирования окружающей среды,
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²Лаборатория теоретической спектроскопии,
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
alena.rodina@iao.ru, avn@iao.ru

За последние десятилетия улучшение знаний об инфракрасных спектрах метана стало целью многочисленных атмосферных и астрофизических приложений [1, 2]. Метан дает значительный эффект в радиационный баланс Земли и является одним из важнейших биомаркеров. В таком контексте многие исследования касались радиационных свойств атмосферы Титана (крупнейшего спутника Сатурна), которая состоит из 98,6% азота и 1,4% метана при температурах в диапазоне от 70 до 200 К [3, 4]. Формальдегид является одним из опасных загрязнителей атмосферы Земли.

Сравнение данных сайта Theorets [5] показывает, что интенсивности переходов метана в базе данных HITRAN имеют систематические ошибки в диапазоне Октады [6] (3760–4800 см^{-1}). В случае формальдегида нами показано, что даже центры колебательных полос имеют значительные (до нескольких обратных сантиметров) отклонения от высокоточных квантово-химических расчетов в диапазоне 3600–5000 см^{-1} .

Работа выполнена за счет грантов РФФИ (№ 20-35-90086 Аспиранты и № 19-03-00581 А).

1. Brown R., Sung K., Benner D.C., Devi V.M., Boudon V., Gabard T. et al. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2013. V. 130. P. 201–19.
2. Tinetti, Encrenaz T., Coustenis A. // Astron. Astrophys. Rev. 2013. V. 21(1). P. 63.
3. Fulchignoni, Ferri F., Angrilli F., Ball A.J., Barn-Nun A., Barucci M.A. // Nature. 2005. V. 438. P. 785–790.
4. Rey, Nikitin A.V., Bézard B., Rannou P., Coustenis A., Tyuterev V.I.G. // Icarus. 2018. V. 303. P. 114–130.
5. Rey, Nikitin A.V., Babikov Y.L., Tyuterev V.I.G. // J. Molec. Spectrosc. 2016. V. 327. P. 38. [Online]. <http://theorets.tsu.ru/>
6. Rodina A., Nikitin A.V., Thomas X., Manceron L., Daumont L., Rey M. et al. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2018. V. 225. P. 351–362.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЧЕНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ АТМОСФЕРНЫХ МОЛЕКУЛ ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

Я.С. Чижмакова¹, А.В. Никитин²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

За последние 20 лет в атмосфере Земли заметно увеличилась концентрация парниковых газов, в том числе CF_4 , SF_6 . Рост концентрации данных молекулы крайне нежелателен, особенно учитывая большое время жизни этих молекул в атмосфере Земли. Моделирование инфракрасных спектров CF_4 , SF_6 необходимо для уточнения вклада в потенциал глобального потепления и радиационных свойств атмосферы. Вычисление спектров многоатомных молекулы – сложная задача [1], из-за большой размерности и необходимости выполнения высокоточ-

ных *ab initio* расчетов [2–4]. Кроме того, вычисленные спектры содержат значительное число переходов и занимают объем в несжатом состоянии до сотни гигабайт [2]. Для практических приложений более удобны сечения поглощения. Рассчитанные из *ab initio* поверхности потенциальной энергии и поверхности дипольного момента сечения поглощения ближе к эмпирическим сечениям поглощения при комнатных температурах, чем полученные из модели эффективного Гамильтониана. Обсуждается точность вычисления поверхности дипольного момента доступными квантово-химическими методами.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (№ 20-35-90075 Аспиранты).

1. Faye M., Boudon V., Loëte M., Roy A., Manceron L. The high overtone and combination levels of SF₆ revisited at Doppler-limited resolution: A global effective rovibrational model for highly excited vibrational states // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*. 2017. V. 190.
2. Rey M., Nikitin A.V., Babikov Y.L., Tyuterev V.G., Molec J. // *Spectrosc.* 2016. V. 327. 138. URL: <http://theorets.tsu.ru>.
3. Nikitin A.B., Rey M., Chizhmakova I.S., Tyuterev V.G. First Full-Dimensional Potential Energy and Dipole Moment Surfaces of SF₆ // *J. Phys. Chem. A*. 2020. V. 124, N 35. P. 7014–7023.
4. Rey M., Chizhmakova I.S., Nikitin A.B., Tyuterev V.G. Understanding global infrared opacity and hot bands of greenhouse molecules with low vibrational modes from first-principles calculations: the case of CF₄ // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2018. V. 20. P. 21008–21033.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПЫЛИ И ВОДЯНОГО ЛЬДА ВО ВРЕМЯ ПЫЛЕВОЙ БУРИ НА МАРСЕ В 2018 г. ПО ДАННЫМ СОЛНЕЧНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

М.С. Лугинин¹, А.А. Федорова¹, Н.И. Игнатьев¹, А.В. Григорьев¹, А.Ю. Трохимовский¹,
А.В. Шакун¹, Ф. Montmessin², О.И. Кораблев¹

¹Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия

²LATMOS, UVSQ Université Paris-Saclay, Sorbonne Université, CNRS, France
mikhail.luginin@phystech.edu

Исследование свойств аэрозолей Марса является неотъемлемой частью изучения климата планеты. Глобальные пылевые бури (ГПБ) значительно изменяют пространственное и высотное распределение пыли и водяного льда и их микрофизические свойства. Последняя ГПБ случилась в 2018 г. и исследовалась с помощью научного комплекса Atmospheric Chemistry Suite (ACS) [1] с борта космического аппарата Trace Gas Orbiter (TGO). Для восстановления высотного распределения водяного льда и пыли и выявления изменения их свойств во времени использовались данные солнечного просвечивания каналов ТИРВИМ и НИР в спектральном диапазоне 0,7–6 мкм с отношением сигнал/шум > 10³. Из спектральной зависимости объемного коэффициента ослабления восстанавливались эффективные радиусы, эффективные вариации, счетные и массовые концентрации аэрозолей, причем благодаря использованию излучения на 3 мкм одновременно разделялись пыль и водяной лед.

В пике ГПБ пыль достигала высоты 85 км; наиболее часто наблюдаемый эффективный радиус составлял 1–2 мкм. В этот период на высотах 50–100 км систематически наблюдались слои водяного льда с радиусами частиц 0,1–1 мкм. На высотах 0–50 км наблюдалась смесь пыли и водяного льда с радиусами частиц 1–4 мкм.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 20-42-09035).

1. Korablev et al. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of Three Spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter // *Space Science Reviews*. 2018. V. 214(1). P. 7.

Авторский указатель

| | | | | | |
|------------------|--|-------------------|----------------|------------------|--------------------|
| А | | Борков Ю.Г. | 11 | Гольдина Н.В. | 50 |
| Аалто П. | 67 | Боровко И.В. | 56 | Горбунова Д.П. | 5 |
| Авезова Т. | 71 | Боровой А.Г. | 7, 9 | Гордеев В.Ф. | 45 |
| Агафонцев М.В. | 102, 103 | Ботыгин И.А. | 45 | Гордеев Е.В. | 101, 102, 103 |
| Алексеева М.Н. | 17 | Бочковский Д.А. | 90 | Горелик А.Г. | 84 |
| Алексеева Ю.О. | 88 | Брусова Н.Е. | 72 | Горчаков Г.И. | 3, 38, 39, 40 |
| Аликина Т.Ю. | 14, 15 | Брюханов И.Д. | 11, 71 | Горчакова И.А. | 3, 64 |
| Альперина Н.А. | 89 | Брюханова В.В. | 11 | Горячев Б.В. | 65 |
| Амикишиева Р.А. | 74 | Будаева Ю.С. | 80 | Гочаков А.В. | 60 |
| Андреева И.С. | 14, 15 | Булохов А.В. | 28 | Григорьев А.В. | 119 |
| Аникин П.П. | 5, 23 | Бунтов Д.В. | 38, 39 | Гриднев Ю.В. | 17 |
| Антохин П.Н. | 41, 59, 60 | Буряк Г.А. | 14, 15, 16, 85 | Гришин А.И. | 93 |
| Антохина О.Ю. | 41, 59 | Бучельников В.С. | 78 | Груздев А.Н. | 27 |
| Апексимов Д.В. | 94 | | | Губанова Д.П. | 21, 23 |
| Арсентьев К.Ю. | 19 | В | | Гудовский П.Г. | 73 |
| Артюшина А.В. | 58 | Валиев Р.Р. | 62 | Гущин Р.А. | 3, 38, 39, 40 |
| Архипов В.А. | 38 | Ван Ц. | 69 | | |
| Аршинов М.А. | 59 | Васильев М.С. | 63 | Д | |
| Аршинов М.Ю. | 29, 30, 31, 33, 41, 43, 88 | Васильева А.В. | 62 | Давыдов Д.К. | 26, 29, 30, 31, 41 |
| Аршинова В.Г. | 41, 42 | Васильева М.С. | 6, 12 | Дайбова Е.Б. | 24 |
| Астахова Е.М. | 34 | Веретенников В.В. | 8 | Даценко О.И. | 3, 38, 39, 40 |
| Афанасьев А.Л. | 101, 102 | Веретехин И.Д. | 113, 115 | Девятова А.Ю. | 77 |
| | | Виноградова А.А. | 62 | Дейчули В.М. | 53 |
| Б | | Вокин О.В. | 18, 19, 71 | Демакова А. | 30, 31 |
| Бабушкин П.А. | 92, 94 | Волков М.В. | 116 | Дементьева А.Л. | 22 |
| Баженов О.Е. | 21 | Володина Д.А. | 77 | Дмитриченко А.А. | 25 |
| Бакланов А.М. | 89 | Воробьев С.Н. | 16 | Долгий С.И. | 17, 86 |
| Баландин С.Ф. | 69, 82 | Воробьева И.Г. | 14 | Доля И.Н. | 73 |
| Балин Ю.С. | 110 | Воронецкая Н.Г. | 29, 33 | Дубцов С.Н. | 35, 89 |
| Банах В.А. | 99, 101, 102 | Воронин Б.А. | 59, 117 | Дудорова Н.В. | 41 |
| Барт А.А. | 49, 54, 55 | Воронина Ю.В. | 59 | Дульцева Г.Г. | 35 |
| Басалаев С.А. | 38 | Воронова О.С. | 35 | Дьяченко А.В. | 80 |
| Башенхаева Н.В. | 69 | Воропай Н.Н. | 67 | Дьячкова А.В. | 26, 29 |
| Бедошвили Е.Д. | 18 | Вострецов Н.А. | 97 | Дюкарев Е.А. | 25, 67 |
| Белан Б.Д. | 15, 29, 30, 31, 34, 40, 41, 42, 57, 59, 77, 78, 88 | Г | | | |
| Белан С.Б. | 29, 33, 41 | Габышев Д.Н. | 83 | Е | |
| Белозерских В.В. | 87 | Гадельшин В.М. | 95 | Егоров В.И. | 19 |
| Белоруков С.К. | 28 | Гадиров Р.М. | 62 | Ежова Е.В. | 30, 31, 67 |
| Белошейкина А.В. | 75 | Галилейский В.П. | 87 | Еланский Н.Ф. | 23 |
| Беляева И.В. | 40, 66, 88 | Гармаш О.В. | 30, 31 | Елецкая Е.В. | 71 |
| Береснев С.А. | 6, 12 | Гейко П.П. | 95 | Елизаров А.И. | 87 |
| Беспалова А.И. | 75 | Гейнц Ю.Э. | 94 | Елохов А.С. | 27 |
| Бирюков Р.Ю. | 80 | Генералов В.М. | 14, 85 | | |
| Бобровников С.М. | 109 | Герасимова А.А. | 102 | Ж | |
| Богачев В.А. | 116 | Герасимова Л.О. | 100 | Жамсуева Г.С. | 7, 22, 41 |
| Боев А.Г. | 16, 28 | Гладких В.А. | 51 | Жарков В.И. | 109 |
| Большасова Л.А. | 116 | Глызина О.Ю. | 71 | Животенюк И.В. | 11 |
| Большаков А.А. | 10, 89, 90 | Голобокова Л.П. | 18, 69, 71 | Журавлева Т.Б. | 47, 58 |
| Борисов Д.В. | 50, 72 | Головко В.В. | 25 | | |
| | | Головушкин Н.А. | 4, 5, 12 | З | |
| | | Голубятников Г.Ю. | 27 | Заворуев В.В. | 75 |
| | | | | Заров Е.А. | 25 |

Авторский указатель

| | | | | | |
|------------------|----------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|
| Захаренко В.С. | 24 | Коновалов И.Б. | 4, 5, 9, | Лукин В.П. | 111, 112, 114, |
| Заяханов А.С. | 7, 22, 41 | | 12, 13 | | 115, 116 |
| Зелинский А.С. | 40, 66 | Коношонкин А.В. | 7, 9, 47 | Лукин И.П. | 81, 96 |
| Землянов А.А. | 94 | Коняев П.А. | 114, 115 | Любимов Д.Н. | 91 |
| Землянова М.А. | 24, 78 | Копейкин В.М. | 3, 38, 70 | Ляпина Е.Е. | 20 |
| Зенкова П.Н. | 7, 9, 13, 89 | Кораблев О.И. | 117, 119 | | |
| Золотов Д.В. | 80 | Коробов В.Б. | 28 | | |
| Золоторев Н.Н. | 38 | Коробов О.А. | 73 | М | |
| Зув В.В. | 56 | Корольков В.А. | 66, 88 | Макаров В.И. | 14, 16, 105, |
| Зуева Г.А. | 25 | Корчагин Г.Е. | 61 | | 107, 108 |
| Зыков И.Ю. | 69 | Котова Е.И. | 28 | Макеев А.П. | 17, 57, 86 |
| | | Коханенко Г.П. | 110 | Макеев Е.А. | 40 |
| И | | Кочнева Л.Б. | 6, 12 | Макенова Н.А. | 115 |
| Иванов А.С. | 30 | Крайнева М.В. | 52 | Максименков Л.О. | 21 |
| Иванова Ю.А. | 62 | Краснов О.А. | 26 | Максютов Ш.Ш. | 26 |
| Ивлев Г.А. | 29, 33, 41 | Крицков И.В. | 16 | Малахова В.В. | 52 |
| Игнатов М.Н. | 11 | Круглинский И.А. | 106, 108 | Малыгина Н.С. | 36, 80 |
| Игнатова А.М. | 11, 24, 31, | Крутиков В.А. | 45 | Мальшикин С.Б. | 29 |
| | 32, 78 | Крылова А.И. | 53, 61 | Мальшиков С.Ю. | 45 |
| Игнатъев Н.И. | 119 | Крючков А.В. | 93 | Мамышев В.П. | 51 |
| Иорданский М.А. | 23 | Кудерина Т.М. | 21, 22, 23 | Маракасов Д.А. | 97, 100, |
| Исаков А.А. | 3, 5, 27 | Кудиков А.В. | 21 | | 101, 102 |
| | | Кузнецов Д.А. | 31 | Мариинате И.И. | 32 |
| К | | Кузнецова И.Н. | 4, 12, 50, | Маричев В.Н. | 90 |
| Кабанов А.М. | 94 | | 61, 72 | Маркелов Ю.И. | 95 |
| Кабанов Д.М. | 106, 107, 108 | Куйбида Л.В. | 33 | Мартынов П.С. | 103 |
| Кабиллов М.Р. | 14, 15 | Купряжкин А.Я. | 95 | Масленникова М.М. | 19 |
| Каблукова Е.Г. | 47, 55 | Кураков С.А. | 25 | Матвиенко Г.Г. | 94 |
| Кадыгров Е.Н. | 84 | Курбатов Г.А. | 38, 39 | Матина П.Н. | 94 |
| Казаков Д.В. | 114 | Курбацкая Л.И. | 47 | Матющенко Ю.Я. | 87 |
| Камардин А.П. | 52 | Курганникова А.И. | 95 | Медвяцкая А.М. | 42 |
| Канев Ф.Ю. | 113, 115 | Куряк А.Н. | 27 | Меньщикова С.С. | 8 |
| Каргаполова Н.А. | 44 | Курятникова Н.А. | 36, 80 | Минашкин В.М. | 23 |
| Каргин Б.А. | 55 | Кусков В.В. | 102 | Мирсаитов С.В. | 38 |
| Карпов А.В. | 3, 38, 39, 40 | Кустова Н.В. | 7, 9 | Митрофаненко Я.К. | 44 |
| Карташов М.Ю. | 34 | Кучеренко М.А. | 113 | Митрофанова Е.Ю. | 80 |
| Касымов Д.П. | 102, 103 | | | Митроченко В.Г. | 89 |
| Керминен В.-М. | 67 | | | Михайлюта С.В. | 73 |
| Кескинен Х. | 67 | Л | | Мовчан В.В. | 106 |
| Кижнер Л.И. | 49, 54, 55 | Лавриненко А.В. | 63, 64 | Моложникова Е.В. | 32, 69, 70, 73 |
| Кирина В.Д. | 76 | Лавринов В.В. | 113, 114 | Момзикова В.А. | 36 |
| Киселев А. | 114, 115 | Лавринова Л.Н. | 113, 114 | Моргачева К.В. | 43 |
| Киселева Т.И. | 25 | Лаптева Н.А. | 14, 46, 53, 61 | Мордосова О.В. | 63 |
| Клемашева М.Г. | 110 | Лапшина Е.Д. | 25 | Морозов А.М. | 87 |
| Клименков И.В. | 18, 19, 71 | Лежнин А.А. | 48, 73 | Мохов И.И. | 35, 64 |
| Князев А.К. | 84 | Лежнев Е.В. | 91 | Мышкин В.Ф. | 69 |
| Кобелев В.О. | 64, 72 | Лезина Е.А. | 50, 61, 72 | | |
| Кобзев А.А. | 66, 88 | Лещенко С.Л. | 84 | Н | |
| Ковадло П.Г. | 114, 115 | Лим А.Г. | 16 | Нагорский П.М. | 66 |
| Коваленко М.А. | 95 | Лисенко А.А. | 93 | Надеев А.И. | 109, 110 |
| Козлов А.В. | 29, 41 | Литвинова А.Е. | 103 | Насибуллин Р.Т. | 62 |
| Козлов А.С. | 14, 15, 20, 29, 33 | Лихошвай Е.В. | 18, 19, 71 | Насонов С.В. | 110 |
| Козлов В.С. | 4, 7, 9, 10, 12, 13, | Лобода Е.Л. | 103 | Насонов С.И. | 110 |
| | 20, 89, 105, 106 | Лобода Ю.А. | 103 | Насртдинов И.М. | 58 |
| Кокарев Д.В. | 87 | Локтюшин О.Ю. | 71 | Нахаев М.И. | 4, 12, 50 |
| Коковкин В.В. | 65, 74 | Ломакина Н.Я. | 63, 64 | Невзоров А.А. | 17, 86, 91 |
| Колосова Т.В. | 90 | Лопатина И.Н. | 69 | Невзоров А.В. | 17, 57, 86 |
| Колотков Г.А. | 76, 94 | Лохов А.С. | 28 | Невзорова И.В. | 51, 52 |
| Кондратьев К.В. | 84 | Лугинин М.С. | 119 | Недорезов Д.А. | 84 |
| | | Лукин А.В. | 69 | Непомнящий О.В. | 84 |

Авторский указатель

| | | | | | |
|------------------|--------------------------|------------------|---|-------------------|---------------|
| Ходжер Т.М. | 22 | Шишигин С.А. | 81, 82 | | |
| Хорохорин Д.М. | 69 | Шишко В.А. | 9, 47 | Czech H. | 20 |
| Хуриганова О.И. | 18, 71 | Шмаргунов В.П. | 9, 13, 20, 84, 89, 105 | | |
| Хуторов В.Е. | 61 | Шнягин Р.А. | 116 | Ejova N.Yu. | 43 |
| Хуторова О.Г. | 61 | Шпартко В.И. | 9, 107, 108 | | |
| | | Шукуров К.А. | 57 | Hampuwo N.T. | 75 |
| Ц | | | | | |
| Цветова Е.А. | 49 | | | | |
| Цвык Р.Ш. | 98, 99, 100 | Щ | | | |
| Цидилина М.Н. | 35 | Щелканов А.А. | 95 | | |
| Цыдыпов В.В. | 7, 22 | Щелканов Н.Н. | 6 | Kulmala M. | 30, 31, 67 |
| | | | | | |
| Ч | | Ю | | | |
| Чанкина О.В. | 107, 108 | Юдин М.С. | 56 | Lefèvre F. | 117 |
| Черемискина А.А. | 85 | Юрченко С.Н. | 59 | | |
| Черепанов В.Н. | 62 | | | М | |
| Чернов Д.Г. | 9, 13, 20, 105, 106, 107 | Я | | MacDonald P. | 43, 67 |
| | | Язиков Е.Г. | 75, 77, 78, 79, 80 | Montmessin F. | 117, 119 |
| Черных Д.В. | 80 | Яковлев А.Е. | 28 | | |
| Черняк В.Г. | 4 | Яковлев Г.А. | 8, 33, 34, 36, 37, 40, 43, 66, 67, 75, 88 | Nagorskiy P.M. | 37 |
| Чеснокова Т.Ю. | 58, 59 | | | | |
| Чижмакова Я.С. | 118 | Яковлев С.В. | 91, 103 | Olsen K.S. | 117 |
| Чупаков А.В. | 28 | Яковлева В.С. | 34, 36, 37, 40, 43, 66, 67, 88 | | |
| Чхетиани О.Г. | 21 | | | Р | |
| | | Якубайлик О.Э. | 75 | Petäjä T. | 31 |
| Ш | | Ярославцева Т.В. | 74, 77 | | |
| Шакун А.В. | 117, 119 | Яушева Е.П. | 6, 9, 10 | Р | |
| Шалыгина И.Ю. | 50, 61, 72 | Яхненко В.М. | 71 | Rashki A. | 57 |
| Шаманаев В.С. | 86 | Яшина Т.В. | 80 | Romanenko E.V. | 34 |
| Швалов А.Н. | 34 | Ященко И.Г. | 17, 21 | | |
| Шевченко В.П. | 16, 28 | | | С | |
| Шельмина Е.А. | 55 | | | Schnelle-Kreis J. | 20 |
| Шерстнев В.С. | 45 | А | | Shumilo A. | 43 |
| Шерстнева А.И. | 45 | Abdullina K. | 67 | | |
| Шерстобитов А.М. | 97 | Addo A.B. | 34, 43 | У | |
| Шерстобитов М.В. | 98, 99 | | | Yeboah E. | 8, 33, 37, 75 |
| Шестернин А.Н. | 99, 100 | В | | | |
| Шикерун К.Т. | 69 | Beekmann M. | 5 | Z | |
| Шиховцев А.Ю. | 114, 115 | Bertaux J.-L. | 117 | Zimmermann R. | 20 |
| Шиховцев М.Ю. | 73 | Bianchi F. | 31 | Zulu M.C. | 8, 33, 75 |

XXVII Конференция
АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

Тезисы докладов

Подписано к печати 13.10.2020.
Формат 60×84/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 14,4. Уч.-изд. л. 14,22. Тираж 200 экз.
Выход в свет 23.11.2020 г. Заказ № 17.

Издательство Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1.
Тел.: (382-2) 49-23-84; факс: (382-2) 49-20-86

Тираж отпечатан в типографии ООО «Живая витрина».
634034, г. Томск, ул. Красноармейская, 101а.
Тел.: (382-2) 55-51-64