

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

XXIX Конференция



АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

Тезисы докладов

Томск
Изд-во ИОА СО РАН
2022

УДК 551.508; 551.510; 551.521

ББК 32.86

А 932

Аэрозоли Сибири. XXIX Конференция : Тезисы докладов. — Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2022. — 102 с.

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

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

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

Ответственный за выпуск – *О.В. Праслова*



АО «НИИ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ»

ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЭРОЗОЛЯ

ВЫЯВЛЕНИЕ УСЛОВНО ФОНОВОГО УРОВНЯ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА В МОСКВЕ И ОЦЕНКА ЕГО СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

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

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

Анализируются данные непрерывных наблюдений за составом аэрозоля в приземном воздухе в административном центре Москвы (ИФА РАН), полученные в 2019–2022 гг. Приборы и методы подробно описаны в [1, 2], в качестве характеристик аэрозоля рассматриваются массовая концентрация всего аэрозоля (гравиметрия), частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$, отдельных химических элементов. Практически все эпизоды повышенного аэрозольного загрязнения приземного воздуха, когда значение среднесуточной концентрации частиц PM_{10} выше ПДК (60 мкг/м^3), связаны с дальним переносом аэрозолей горения или пыли в Московскую область из других регионов, и таких эпизодов совсем немного [2]. При этом среднесуточная концентрация $PM_{2,5}$ не превышает ПДК (35 мкг/м^3). Поэтому условно фоновыми (маркировка _BG) значениями характеристик аэрозольного загрязнения предложено считать средние (для месяца, сезона) величины, рассчитанные по дням, когда концентрация $PM_{10} < \text{ПДК}$. Такой фон формируется как природными, так и антропогенными источниками аэрозолей не только локального, но и удаленного происхождения. Почти для всех месяцев $PM_{10_BG} + 3 \cdot \text{СКО} < \text{ПДК}$. На подмосковной станции ЗНС ИФА РАН, где параллельно велись наблюдения, значения концентрации PM_{10} и $PM_{2,5}$ почти никогда не превышают соответствующие ПДК. В работе обсуждаются соотношения уровня условного фона для всех рассматриваемых характеристик аэрозоля в Москве и в Подмоскowie в разные месяцы и сезоны.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50088).

1. Губанова Д.П. и др. 2021. DOI: 10.31857/s0002351521030056.
2. Gubanov D.P. et al. 2022. DOI: 10.3390/atmos13040574.

ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ПЫЛЕВОГО АЭРОЗОЛЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОПУСТЫНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ НА ЧЕТЫРЕХ УРОВНЯХ

А.В. Карпов, Г.И. Горчаков, В.М. Копейкин, Р.А. Гущин, О.И. Даценко

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

В диапазоне размеров от 0,5 до 5,0 мкм выполнены измерения функции распределения частиц пылевого аэрозоля на четырех уровнях (0,3; 1,5; 3,0 и 6,0 м) на опустыненной территории в Астраханской обл. в августе-сентябре 2021 г. Восстановлены вертикальные профили суммарной концентрации частиц пылевого аэрозоля. Предложены степенные аппроксимации профилей суммарной концентрации. Проанализированы вариации функции распределения частиц пылевого аэрозоля по размерам. Показано, что изменчивость наблюдаемых функций распределения определяется соотношением вкладов фонового аэрозоля и аэрозоля, генерируемого в ветропесчаном потоке на подстилающей поверхности. Выполнены измерения функций распределения частиц по размерам в восходящих и нисходящих ячейках конвективной когерентной структуры. Показано, что в восходящих ячейках, где наблюдается усиление горизонтальной компоненты скорости ветра, микроструктура пылевого аэрозоля определяется, главным образом, генерацией на подстилающей поверхности, а в ячейках с нисходящими движениями – фоновой компонентой пылевого аэрозоля. Выполнено сопоставление с ранее опубликованными результатами [1, 2].

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

1. Карпов А.В. Флуктуации микроструктуры грубодисперсного и субмикронного аэрозоля на опустыненной территории // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 10. С. 844–849.
2. Gorchakov G.I., Karpov A.V., Kopeikin V.M. et al. Dust aerosol emission on the desertified area // Proc. SPIE 11560, 26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics, 2020. 1156076.

О ВЕЛИЧИНЕ ПЛОТНОСТИ ЧАСТИЦ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРОДСКОГО СУБМИКРОННОГО И МИКРОННОГО ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ

Д.П. Губанова, М.А. Иорданский, А.И. Скороход, И.Б. Беликов, В.А. Белоусов

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

Плотность частиц атмосферного аэрозоля – важнейшая характеристика, связанная с химическим составом и природой частиц, метеорологическими и другими параметрами. Она обуславливает поведение частиц и их роль в изменении оптических характеристик и состава атмосферы. Экспериментальное определение величины плотности аэрозольных частиц сопряжено со значительными методическими трудностями. В настоящее время в натуральных наблюдениях наиболее доступны и широко применяются аэрозольные спектрометры, измеряющие микрофизические параметры различных фракций аэрозольных частиц. Для оценки массовой концентрации последних должна быть известна их плотность.

В докладе представлены результаты обобщения и анализа многолетних данных исследований плотности аэрозольных частиц различными авторами. С учетом химического состава, метеорологических условий, суточной и сезонной изменчивости, величина плотности микронных частиц (преимущественно минерального происхождения) в среднем составляет $1,8\text{--}3,2 \text{ г/см}^3$ [1–3], а субмикронных частиц (преимущественно углеродсодержащих и сульфатов) – $1,2\text{--}1,8 \text{ г/см}^3$ [2–4].

На основе этих результатов предложен алгоритм оценки массовой концентрации субмикронных и микронных городских аэрозолей с использованием информации об их микрофизических характеристиках, на примере данных наблюдений приземного аэрозоля в Москве в 2019–2022 гг.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-05-50088) и государственного задания ИФА РАН (№ 129-2022-0012).

1. Hänel G., Thudium J. // Pure and Applied Geophysics. PAGEOPH. 1977. DOI: 10.1007/bf00881211.
2. Pitz M. et al. // Science & Technology. 2003. DOI: 10.1021/es034322p.
3. Zhao S. et al. // Aerosol and Air Quality Research. 2017. DOI: 10.4209/aaqr.2015.11.0641.
4. Li Z. et al. // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2018. DOI: 10.1029/2018jd028956.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ХЕНЕЛА ЧАСТИЦ РАЗНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ГИГРОГРАММ КОЭФФИЦИЕНТА РАССЕЯНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИФфуЗИОННОЙ СЕЛЕКЦИИ

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

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

При изучении конденсационного роста атмосферного аэрозоля многими исследователями отмечается зависимость гигроскопических свойств от размера частиц. Нефелометрический метод в комбинации с диффузионной селекцией (последовательным удалением из потока самой мелкой фракции) позволяет оценить конденсационную активность частиц радиусом $r < 0,2 \text{ мкм}$.

Для селекции аэрозольных частиц были применены три последовательно включаемые сетки диффузионной батареи, обеспечивающие 50-процентный проскок частиц диаметром 100, 400 и 600 нм. В 2020–2022 гг. были проведены измерения коэффициента направленного рассеяния $\mu(45^\circ)$ с искусственным увлажнением аэрозоля. В каждом цикле регистрировались 4 гигрограммы: «невозмущенного» аэрозоля и трех трансформированных распределений. Для каждой их них был определен параметр конденсационной активности. Чтобы определить параметр Хенела для радиуса частиц $\eta(r)$, на первом этапе в качестве модельного было взято логнормальное распределение $f_0(r)$ со значением медианного радиуса $r_m = 0,1 \text{ мкм}$ и полушириной $\ln S = 0,6$, которое затем трансформировалось в соответствии с заданной эффективностью проскока частиц. Рассчитывались функции $f_1(r)$, $f_2(r)$ и $f_3(r)$, получаемые при включении соответствующих сеток. Внутри каждой фракции параметр Хенела считался не зависящим от радиуса. Значения $\eta(r)$ для каждой функции распределения подбирались таким образом, чтобы рассчитанный по теории Ми коэффициент рассеяния при влажности $RH = 90\%$ совпадал с измеренным в эксперименте.

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

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ГОДОВОГО ХОДА ПАРАМЕТРА КОНДЕНСАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ

А.В. Антонов

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

Для учета трансформации параметров аэрозоля в зависимости от относительной влажности воздуха при оценке его оптических и радиационных характеристик необходимо минимизировать количество параметров, используемых в расчетах. В работе предложена параметризация годового хода экспериментально полученных значений параметра конденсационной активности аэрозоля.

В качестве основного инструмента использовался интегрирующий нефелометр М903, регистрирующий коэффициент аэрозольного рассеяния на длине волны 0,55 мкм и снабженный устройством искусственного увлажнения исследуемого аэрозоля. Измерения гигрограмм проводились в автоматическом режиме раз в четыре часа. Динамика коэффициента аэрозольного рассеяния при росте влажности аппроксимировалась формулой Кастена–Хенела $\sigma = \sigma_0(1 - RH)^{-\gamma}$, где σ_0 – коэффициент рассеяния, обусловленный сухой основой частиц; γ – параметр конденсационной активности; RH – относительная влажность воздуха.

По измерениям гигрограмм направленного коэффициента рассеяния $\mu(45^\circ)$ в 1998–2000 гг. были выявлены характерные черты годового хода параметра конденсационной активности: максимум в марте–апреле, минимум в летние месяцы и второй максимум осенью, менее выраженный, чем весенний. Данные измерений интегрального коэффициента рассеяния подтвердили, что и в этом случае все характерные черты временной изменчивости сохраняются. Для массива данных 2021 г. подобрана периодическая функция, аппроксимирующая годовой ход данного параметра.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФ (Соглашение № 19-77-20092).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МНИМОЙ ЧАСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ФРАКЦИИ ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ

И.Б. Коновалов¹, Н.А. Головушкин¹, В.Н. Ужегов², П.Н. Зенкова², Вас.В. Польшкин², В.П. Шмаргунов²,
Е.П. Яушева², В.А. Ромащенко³, С.А. Попова⁴, Е. Шишкин⁴

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

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

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

⁴Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия
konov@ipfran.ru

Одним из ключевых параметров, определяющих радиационные эффекты атмосферного аэрозоля в расчетах на основе химико-транспортных и климатических моделей, является мнимая часть показателя преломления органической фракции аэрозольных частиц (органического аэрозоля) – k_{OA} , характеризующая абсорбционные свойства «коричневого углерода». Однако экспериментальные исследования показывают, что величина k_{OA} является чрезвычайно изменчивой.

С целью изучения этой изменчивости и для получения оценок k_{OA} , характеризующих дымовой аэрозоль, образующийся в результате лесных пожаров в Сибири, в 2022 г. в Большой аэрозольной камере ИОА СО РАН была проведена серия экспериментов, в ходе которых в условиях, максимально приближенным к атмосферным, измерялась 2–3-суточная динамика оптических характеристик пиролизных дымов как под воздействием УФ-облучения, так и без него. Результаты этих измерений были использованы в качестве входных данных для ранее разработанного [1] алгоритма восстановления k_{OA} , использующего метод Монте-Карло и расчеты на основе теории Ми. Полученные оценки k_{OA} характеризуют ослабление абсорбционных свойств сибирского дымового аэрозоля, определяемых коричневым углеродом, в процессе старения дымов под воздействием солнечного излучения.

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

1. Kononov I.B., Golovushkin N.A., Beekmann M., Panchenko M.V., Andreae M.O. Inferring the absorption properties of organic aerosol in Siberian biomass burning plumes from remote optical observations // Atmos. Meas. Tech. 2021. V. 14. P. 6647–6673.

МИКРОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЫМОВ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ

В.В. Веретенников¹, В.Н. Ужegov^{1,2}, В.А. Ромащенко^{2,3}

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

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

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
vuv@iao.ru

В Большой аэрозольной камере (БАК) ИОА СО РАН проведены исследования оптико-микрофизических характеристик дымовых аэрозолей, образующихся в результате термического разложения древесных материалов. Выполнены измерения поляризационных индикатрис рассеяния для 5 углов рассеяния (15, 45, 110, 135 и 165°) в диапазоне длин волн 0,46–0,63 мкм (поляризационный спектрофелометр) и коэффициентов аэрозольного ослабления света в спектральном интервале 0,45–3,9 мкм (трассовый измеритель прозрачности атмосферы). С использованием разработанного алгоритма обращения оптических измерений восстановлены микроструктурные характеристики и комплексный показатель преломления дымов [1].

Данные о микрофизических характеристиках дымов использованы для определения их оптических характеристик, которые не измерялись в экспериментах (метод микрофизической экстраполяции), таких как угловые зависимости индикатрис рассеяния и средний косинус угла рассеяния, спектральные зависимости коэффициентов рассеяния и поглощения, альbedo однократного рассеяния. Представлена временная изменчивость восстановленных оптических характеристик дымов.

Разработка численных алгоритмов обращения оптических характеристик и их экстраполяции проведена в рамках госбюджетного задания, а результаты измерений и их интерпретация выполнены при финансовой поддержке РФФ (Соглашение № 19-77-20109).

1. Веретенников В.В., Ужegov В.Н. Микрофизические параметры дымовых аэрозолей по результатам обращения коэффициентов аэрозольного рассеяния и ослабления в большой аэрозольной камере ИОА // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXVIII Международного симпозиума. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2022. С. В228–В231. [Электронный ресурс]. URL: <https://symp.iao.ru/ru/aoo/28/proceedings>.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ АЭРОЗОЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ, РАССЕЯНИЯ И ОСЛАБЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДЫМАХ ГОРЕНИЯ И ПИРОЛИЗА В 2022 г.

В.Н. Ужegov^{1,2}, В.С. Козлов¹, И.Б. Коновалов², М.В. Панченко¹, П.Н. Зенкова^{1,2}, Вас.В. Польшкин^{1,2}, В.А. Ромащенко^{2,3}, Д.Г. Чернов¹, В.П. Шмаргунов^{1,2}, Е.П. Яушева¹

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

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

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
uzhegov@iao.ru

В 2022 г. выполнен IV этап комплексных измерений спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления на длинах волн 0,45–3,9 мкм (трассовые измерения), углового рассеяния (поляризационная нефелометрия) и поглощения (многоволновая аэталометрия) 0,44–0,63 мкм в дымах горения и пиролиза в Большой Аэрозольной Камере (БАК).

Проведена серия 3х-суточных экспериментов, моделирующих эволюцию пиролизных дымов в крупномасштабных дымовых шлейфах от сибирских пожаров в различных условиях, в том числе: при наличии и отсутствии УФ-облучения; в условиях повышенной влажности и в условиях сухой атмосферы. Выявлено ослабление абсорбционных свойств сибирского дымового аэрозоля, определяемых коричневым углеродом, в процессе старения дымов под воздействием солнечного излучения.

Анализ результатов мультиволновых измерений коэффициентов аэрозольного ослабления, рассеяния и поглощения в БАК за 2019–2022 гг. позволил провести оценку спектральных зависимостей поглощающих и рассеивающих свойств отдельно для субмикронного и грубодисперсного дымового аэрозоля в диапазоне длин волн 0,45–3,9 мкм. Показано, что коэффициенты ослабления и рассеяния излучения на начальной стадии дымовых экспериментов определяются преимущественно массой сожженного вещества. Ослабление оптической радиации в дымах в основном обусловлено процессами рассеяния на аэрозольных частицах. Доля поглощения изменяется от 2–4% в пиролизных дымах до 15–20% в смешанных.

Спектральная зависимость поглощения субмикронным аэрозолем соответствует поглощению сажи или черного углерода. Получена оценка спектральных коэффициентов аэрозольного рассеяния и поглощения, связанных с грубодисперсной фракцией дымового аэрозоля.

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

ОЦЕНКА ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ В РЕГИОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ БТА

А.Ю. Шиховцев¹, П.Г. Ковadlo¹, В.Б. Хайкин²

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, г. Нижний Архыз, Россия
Ashikhovtsev@isf.irk.ru

Работа представляет результаты оценки статистик осажденного водяного пара и оптической толщи атмосферы для отдельных пунктов в регионе расположения Большого телескопа Альт-азимутального (БТА). Анализируются пространственные распределения осажденного водяного пара в регионе БТА. Показано, что характерная высота, используемая в оценке осажденного водяного пара с учетом рельефа местности изменяется в диапазоне от 0,67 до 0,78.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 22-72-00049).

ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННО-ЗНАЧИМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ

П.Н. Зенкова¹, В.Н. Ужегов¹, Д.Г. Чернов¹, В.П. Шмаргунов¹, И.Б. Коновалов²

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

²Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН г. Нижний Новгород, Россия
zpn@iao.ru

В Большой Аэрозольной Камере (БАК) ИОА СО РАН с 2019 по 2022 г. проведено 48 комплексных экспериментов по моделированию дымового аэрозоля, образующегося в результате сжигания древесины сосны при разных соотношениях тлеющего и пламенного режимов горения. Выполнены измерения поляризационных индикатрис рассеяния для 5 углов рассеяния (15, 45, 110, 135 и 165°) в диапазоне длин волн 0,46–0,63 мкм и коэффициентов аэрозольного ослабления света в спектральном интервале 0,45–3,9 мкм. Данные о микрофизических характеристиках дымов использованы для определения их оптических характеристик [1], которые не измерялись в экспериментах, таких как параметр асимметрии, альбеда однократного рассеяния. Представлена временная изменчивость восстановленных оптических характеристик дымов.

На основе линейной экстраполяции временной зависимости $\alpha_{ABS}(t)$ выявлено время жизни коричневого углерода (BrC) в зависимости от вклада режимов пламенного и тлеющего горения. При изменении величины MIX от 0,01 до 0,1 это время меняется от 5 до 2 суток.

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

1. Зенкова П.Н., Терпугова С.А., Полькин В.В., Полькин Вас.В., Ужегов В.Н., Козлов В.С., Яушева Е.П., Панченко М.В. Развитие эмпирической модели оптических характеристик аэрозоля Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 3. С. 192–198.

ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРА АСИММЕТРИИ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

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

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

Восстанавливаются вертикальные профили параметра асимметрии тропосферного аэрозоля для нижнего 5-км слоя атмосферы Западной Сибири. Входными параметрами являются данные многолетнего самолетного зондирования высотных профилей коэффициентов направленного рассеяния, дисперсного состава атмосферного аэрозоля, содержания поглощающих частиц и параметра конденсационной активности [1]. При восстановлении параметра асимметрии используются значения переменного комплексного показателя преломления частиц разных размеров при изменении относительной влажности воздуха на высотах до 5 км. Модельные значения сравниваются с многолетними (2004–2021 гг) наблюдениями со станции сети AERONET [2], расположенной в г. Томска.

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

1. Зенкова П.Н., Терпугова С.А., Польшкин В.В., Польшкин Вас.В., Ужесов В.Н., Козлов В.С., Яушева Е.П., Панченко М.В. Развитие эмпирической модели оптических характеристик аэрозоля Западной Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 3. С. 192–198.
2. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakadjima T., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. 1998. V. 66, N 1. P. 1–16.

ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОПОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД МОРЯМИ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ С БОРТА САМОЛЕТА-ЛАБОРАТОРИИ ТУ-134 «ОПТИК»

П.Н. Зенкова, Д.Г. Чернов, М.Ю. Аршинов, И.А. Круглинский, Б.Д. Белан, М.В. Панченко

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

В сентябре 2020 и 2022 гг. на самолете-лаборатории Ту-134 «Оптик» были проведены широкомасштабные, комплексные исследования состава тропосферы российского сектора Арктики. Рассмотрены результаты исследований пространственно-временной изменчивости концентраций аэрозоля и черного углерода (BC). По данным зондирования проанализированы общие и отличительные черты пространственной изменчивости вертикальных профилей концентрации аэрозоля и BC. Получены интегральные концентрации BC в столбе атмосферы в арктических и субарктических широтах.

На основе измеренных данных проведена оценка оптических характеристик (спектральный ход коэффициентов рассеяния и ослабления аэрозоля, альбедо однократного рассеяния) тропосферного аэрозоля над населенными пунктами севера России: г. Архангельска, г. Салехарда, пгт. Тикси и г. Анадырь.

Зондирование атмосферы выполнено на УНУ самолет-лаборатория Ту-134 «Оптик», созданного в рамках госзадания ИОА СО РАН. Обработка данных и анализ результатов проведено по проекту Минобрнауки РФ «Исследование антропогенных и естественных факторов изменений состава воздуха и объектов окружающей среды в Сибири и Российском секторе Арктики в условиях быстрых изменений климата с использованием УНУ «Самолет-лаборатория Ту-134 «Оптик»» (соглашение № 075-15-2021-934).

СРАВНЕНИЕ КОНДЕНСАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ЧАСТИЦ РАЗНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ДАННЫМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЧЕТЧИКА И НЕФЕЛОМЕТРА С ДИФфуЗИОННОЙ СЕЛЕКЦИЕЙ

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

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

С 2020 г. на аэрозольной станции ИОА СО РАН проводятся исследования конденсационной активности аэрозольных частиц разных размеров в приземном слое воздуха. Применяются два метода: измерения интегральных функций распределения частиц по размерам фотоэлектрическим счетчиком при искусственном увлажнении исследуемого аэрозоля и нефелометрические измерения гигрограмм коэффициента рассеяния с предварительной диффузионной селекцией. В этом случае при последовательном включении сеток диффузионной батареи из потока удаляются сначала самая мелкая, затем более крупные фракции частиц. Это дает возможность изучения чувствительности параметра конденсационной активности аэрозоля к изменению его спектра размеров. По данным фотоэлектрического счетчика оценивается параметр конденсационной активности (параметр Хенела) для радиуса частиц в диапазоне $r = 0,16–2$ мкм. В докладе сравниваются результаты оценки параметра конденсационной активности, полученные двумя методами в 2022 г.

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

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОЗОЛЕЙ НАД МОРЯМИ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В СЕНТЯБРЕ 2020 г.

М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, Д.К. Давыдов, А.В. Козлов, А.В. Фофанов

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

Потепление климата в Арктике протекает намного быстрее, чем в других регионах земного шара. В 2020 г. температурные аномалии в российском секторе Арктике достигли беспрецедентно высокого уровня. Состав атмосферы в этом ключевом регионе до сих пор остается недостаточно изученным, что затрудняет прогнозирование будущих изменений климата.

В сентябре 2020 г. было проведено крупномасштабное самолетное зондирование с целью исследования состава тропосферы над российской Арктикой. Для этого был использован самолет-лаборатория «Оптик» Ту-134, оснащенный приборами для проведения измерений концентрации малых газовых составляющих атмосферы и аэрозолей. Самолет пролетел над обширной территорией от Архангельска до Анадыря. Проведено шесть измерительных полетов с изменением высот от 0,2 до 9,0 м над акваторией Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей. Погода была необычно теплой для этого периода года, температура приземного воздуха на протяжении всей самолетной кампании была выше 0 °С.

В работе представлены результаты натурных измерений вертикального распределения концентрации аэрозолей в широком диапазоне размеров (0,003–32,0 мкм). Полеты над Баренцевым и Карским морями выполнялись преимущественно при ясном небе или в условиях малооблачной погоды. Распределения по размерам над ними были широкими и представлены частицами почти всех фракций аэрозолей. При полете в верхней тропосфере на постоянной высоте над этими морями было зарегистрировано несколько случаев повышенных концентраций частиц нуклеационного диапазона и частиц моды Айткена, сопоставимых с таковыми в нижней тропосфере, что позволяет предположить образование там новых частиц вследствие процессов «газ–частица». К востоку от Карского моря полеты проводились в основном в условиях облачности, что привело к более низкой концентрации аэрозолей и более узкому распределению по размерам.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075-15-2021-934)

НЕДЕЛЬНЫЙ ХОД ОТНОШЕНИЯ $I(20^\circ)/I(1,2^\circ)$ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ПРИГОРОДА ТОМСКА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Вас.В. Полькин

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

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

Анализ недельного хода ореольных индикатрис рассеяния осуществлен в рамках задач, выполняемых при финансовой поддержке РФФИ (соглашение № 19-77-20092).

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РМ В ВОЗДУШНОМ БАСЕЙНЕ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ

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

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

Рассматриваются концентрации твердых частиц (РМ) различных размерных фракций на станции мониторинга «Листвянка», расположенной на западном побережье оз. Байкал ($51,8467^\circ$ с.ш., $104,8930^\circ$ в.д.). Для определения счетной и массовой концентрации твердых частиц в диапазоне до 10 мкм использовался лазерный фотометр «DUSTTAK 8533» (TSI Incorporated, USA). Регистрация метеорологических параметров велась с помощью ультразвукового метеокомплекса «Метео-2М». Общие синоптические процессы над регионом рассматривались с помощью программы Digital Atmosphere и анализа прямых и обратных траекторий движения воздушных масс, рассчитанных на модели HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Model, NOAA).

Произведена оценка внутригодовой и суточной динамики РМ. Анализ внутригодовой динамики показал, что наибольшие концентрации фиксируются летом (перенос дымовых шлейфов от лесных пожаров в Якутии 2021 г.) и зимой (перенос от крупных теплоэлектростанций).

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

РАСЧЕТ СИГНАЛА СКАНИРУЮЩЕГО ЛИДАРА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ, СОДЕРЖАЩИХ ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ГОРИЗОНТАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЕ КРИСТАЛЛЫ

В.А. Шишко, А.В. Коношонкин, Д.Н. Тимофеев, Н.В. Кустова, А.Г. Боровой, Г.П. Коханенко, Ю.С. Балин

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

Оптические характеристики перистых облаков обычно рассматривают в предположении, что кристаллические частицы, входящие в состав этих облаков, ориентированы случайным образом. Однако крупные кристаллы льда, особенно пластинчатой формы, часто принимают квази-горизонтальную ориентацию. Такая ориентация частиц существенно меняет оптические характеристики перистых облаков, что необходимо учитывать как в задачах рассеяния света, так и в задачах лазерного дистанционного зондирования. Известными проявлениями квази-горизонтальной ориентации кристаллов льда в перистых облаках являются такие оптические явления, как ложное солнце, гало, паргелий.

Ранее было показано, что эффект углового отражения, присущий идеальным гексагональным кристаллам льда, приводит к резким пикам как сечения обратного рассеяния, так и деполаризационного отношения при наклонах лидара около 30° от зенита [1]. При сравнении теоретических данных и экспериментальных результатов, полученных недавно [2], при наклоне лидара 43° наблюдается частичное проявление эффекта углового отражения. Отметим, что экспериментальные данные, полученные при наклоне лидара 43° , не были оптимальными для восстановления микрофизики перистых облаков и, как было показано ранее [1], оптимальным наклоном лидара будет около 30° .

Результаты зондирования атмосферы сканирующим поляризационным лидаром ЛЮЗА-М3 [3, 4] 21 мая 2021 г. (09:45–09:50 по местному времени, местонахождение: ИОА СО РАН, Томск) показали наличие эффекта углового отражения. Это указывает на облачные слои, состоящие из квази-горизонтально ориентированных гексагональных частиц льда. Сканирование осуществлялось при прохождении оси лидара через зенит (в диапазоне от -2° до $+48^\circ$), что позволяло контролировать точность установки лидара по вертикали. Три цикла сканирования были выполнены за 10 мин.

1. Borovoi A.G., Konoshonkin A.V., Kustova N.V., Veselovskii I.A. Contribution of corner reflections from oriented ice crystals to backscattering and depolarization characteristics for off-zenith lidar profiling // JQSRT. 2018. V. 212. P. 88–96.
2. Veselovskii I., Goloub P., Podvin T., Tanre D., Ansmann A., Korenskiy M., Borovoi A., Hu Q., Whiteman D.N. Spectral dependence of backscattering coefficient of mixed phase clouds over West Africa measured with two-wavelength Raman polarization lidar: Features attributed to ice-crystals corner reflection // JQSRT. 2017. V. 202. P. 74–80.
3. Kokhanenko G.P., Balin Yu.S., Klemasheva M.G., Nasonov S.V., Novoselov M.M., Penner I.E., SamoiloVA S.V. Scanning polarization lidar LOSA-M3: Opportunity for research of crystalline particle orientation in the clouds of upper layers // Atmos. Meas. Tech. 2020. V. 13, N 3. P. 1113–1127.
4. Kokhanenko G.P., Balin Yu.S., Borovoi A.G., Klemasheva M.G., Nasonov S.V., Novoselov M.M., Penner I.E., SamoiloVA S.V. Application of polarization lidars to study the orientation of crystalline particles in ice clouds // Proc. SPIE 12086. 2021. 120860Q.

ГЕНЕРАЦИЯ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНЫХ ЛЕДЯНЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ МЕТОДА ДИСКРЕТНЫХ ДИПОЛЕЙ В РАМКАХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАССЕЯНИЯ СВЕТА

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

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

Метод физической оптики предназначен для решения задачи рассеяния света на частицах размера порядка 10–1000 мкм. Для частиц большего размера используются методы реализующие приближение геометрической оптики, а для частиц меньшего размера – точные численные методы, такие как метод дискретных диполей

(DDA1). Для проверки сходимости методов необходимо провести сравнение результатов решений на частицах одинаковой формы и размера. Однако способы задания частиц в рамках методов отличаются, поэтому часто возникает проблема генерации одной и той же частицы для обоих методов.

В работе приводится подробное описание процесса создания моделей частиц для программной реализации метода дискретных диполей (ADDA2) на основе модели частиц, используемой в рамках метода физической оптики. В ходе работы были сгенерированы гексагональные частицы, характерные для перистых облаков, а также частицы случайной формы с различным количеством диполей. Результаты работы были применены для исследования сходимости методов приближения дискретных диполей и физической оптики.

1. DeVoe H. Optical properties of molecular aggregates. I. Classical model of electronic absorption and refraction // J. Chem. Phys. 1964. V. 42. P. 393.
2. Yurkin M.A., Hoekstra A.G. The discrete-dipole-approximation code ADDA: Capabilities and known limitations // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2011. V. 112. P. 2234–2247.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДЯНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЧАСТИЦ В РАМКАХ ПРИБЛИЖЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Н.В. Кан¹, И.В. Ткачев¹, Д.Н. Тимофеев¹, В.А. Шишко¹, А.В. Коношонкин^{1,2}

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

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

Задача рассеяния света на крупных несферических частицах является сложной задачей атмосферной оптики, которая традиционно решается точными численными методами, такими как DDA, FDTD, PSTD и др. Однако область применимости точных численных методов ограничена размером частиц 5–10 мкм, поскольку для более крупных частиц решение является слишком ресурсозатратным. Так как размеры частиц перистых облаков и крупного полевого аэрозоля достигают в размерах 1000 мкм, то общепринятым методом в таком случае является приближение геометрической оптики. Однако приближение геометрической оптики, вообще говоря, не применимо для решения задачи рассеяния света на частицах правильной гексагональной формы, так как в направлении рассеяния назад ($\theta = 180^\circ$) возникает пик сингулярности. Эту проблему можно решить, используя метод физической оптики. Таким образом для решения задачи рассеяния света по всей сфере направлений рассеяния следует объединить преимущества методов геометрической и физической оптики. Данная работа посвящена исследованию возможности объединения решений физической и геометрической оптики.

В качестве тестовой задачи проводилось решение на типичных частицах перистых облаков гексагональный столбик и дроксталл. Так как для таких частиц может присутствовать уголковое отражение и пик сингулярности назад. Решение получено в рамках геометрической и физической оптики.

ДЕПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ ОТНОШЕНИЕ СЛУЧАЙНО ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЛЕДЯНЫХ КРИСТАЛЛОВ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ

Н.В. Кустова¹, А.В. Коношонкин^{1,2}, В.А. Шишко¹, Д.Н. Тимофеев¹, И.В. Ткачев¹, А.Г. Боровой¹

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

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

Поляризационные лидары являются перспективными инструментами для изучения микрофизических свойств облаков и пыли в атмосфере [1]. В этих исследованиях микрофизика облаков выводится из безразмерных величин, таких как спектральные, лидарные и деполяризационные отношения. Среди них деполяризационное отношение является наиболее распространенной величиной из-за простоты его измерения. Несмотря на востребованность деполяризационного отношения для практических нужд, величины деполяризационного отношения в перистых облаках пока достоверно не известны. Причина в том, что задача рассеяния света одиночным ледяным кристаллом не решена ни теоретически, ни численно [2].

В данной работе получены деполяризационное отношение и сечение обратного рассеяния для форм и размеров ледяных кристаллов, типичных для перистых облаков. Расчеты выполнены в приближении физической оптики. Показано, что деполяризационное отношение приближается к некоторому постоянному значению, когда размер кристаллов становится намного большим, чем длина волны падающего света. Для прозрачных кристаллов льда, когда поглощение отсутствует, величина этой константы сильно зависит от формы кристаллов.

Этот факт позволяет судить о форме кристалла по величине деполаризационного отношения в лидарных сигналах. Для длин волн лидара, где поглощение света значительно, деполаризационное отношение сигналов лидара можно использовать для определения размеров кристаллов. Такие результаты важны для разработки алгоритмов интерпретации сигналов, получаемых как наземными, так и космическими лидарами.

1. *Liou K.-N., Yang P.* Light scattering by ice crystals. Fundamentals and applications. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2016. 460 p.
2. *Mishchenko M.I., Hovenier J.W., Travis L.D.* Light Scattering by Nonspherical Particles. San Diego, United States: Academic, 2000. 720 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧАСТИЦ НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ РАЗМЕРАМИ ОТ 5 ДО 300 мкм ДЛЯ ЗАДАЧ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

И.В. Ткачев¹, А.В. Коношонкин^{1,2}, Д.Н. Тимофеев¹, Н.В. Кан¹, Н.В. Кустова¹

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

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

Перистые облака в последнее время вызывают общий научный интерес, так как они оказывают значительное влияние на климат планеты. Однако для интерпретации данных дистанционного зондирования Земли из космоса с помощью лидарных методов, необходимо решение задачи рассеяния света и изучение оптических свойств ледяных кристаллов.

Решение данной задачи проводится с использованием метода физической оптики, разработанного в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. С помощью этого метода можно эффективно исследовать оптические свойства частиц с размером, значительно большим длины волны падающего излучения.

В данной работе представлено решение для частиц неправильной формы диапазона размеров от 5 до 300 мкм. Анализ результатов, полученных для частиц неправильной формы, показал, что в решении отсутствуют интерференционные осцилляции, поскольку у частицы нет плоскопараллельных граней. Для длин волн, на которых отсутствует поглощение, степенные зависимости гладкие.

Деполаризационное отношение также является достаточно гладкой функцией ввиду отсутствия интерференционных осцилляций и эффекта волновода у таких частиц. Диапазон, в котором варьируется DR равен от 0 до 0,6 отн. ед. в зависимости от длины волны, показателя поглощения и преломления, а также от размера частицы. Учет влияния поглощения приводит к значительному уменьшению деполаризационного отношения, вплоть до нуля, при величине мнимой части показателя преломления более $0,002i$ и размерах частицы более 100 мкм. Что явно указывает на преобладание внешней зеркальной компоненты в рассеянном излучении.

ИССЛЕДОВАНИЕ СХОДИМОСТИ МЕТОДОВ ДИСКРЕТНЫХ ДИПОЛЕЙ И ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

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

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

Перистые облака являются одним из основных источников неопределенности в современных климатических моделях и долгосрочном прогнозировании погоды. Эти облака состоят преимущественно из ледяных частиц.

Приближение физической оптики демонстрирует эффективность при решении задачи рассеяния света на ледяных частицах размерами от десятка до тысяч микрон, что недостаточно для интерпретации лидарных данных. Поэтому для успешной интерпретации лидарных данных необходимо получить решения для частиц размером от 0,1 до 10 мкм.

В рамках метода дискретных диполей (ADDA v. 1.4) [1] было получено решение задачи рассеяния света на мелких хаотически ориентированных кристаллических частицах размером от 0,02 до 6 мкм и горизонтально ориентированных гексагональных пластинок размером от 6 до 20 мкм. Решение задачи рассеяния света получено для длины волны 0,532 мкм, показателя преломления – 1,3116. Проведено сравнение результатов с решением, полученным в приближении физической оптики [2].

В данной работе рассматриваются следующие задачи: 1) исследование влияния сходимости решения, полученного методом ADDA, от количества диполей по отношению к длине волны падающего излучения; 2) оценка влияния количества ориентаций частицы на сходимость решений; 3) оценка затраченного времени на получения решения в зависимости от размера частицы; 4) проведение сравнения методов ADDA и приближения физической оптики.

1. Yurkin M.A., Maltsev V.P., Hoekstra A.G. The discrete dipole approximation for simulation of light scattering by particles much larger than the wavelength // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2007. V. 106. P. 546–557.
2. Konoshonkin A.V., Kustova N.V., Borovoi A.G., Grynko Y., Förstner J. Light scattering by ice crystals of cirrus clouds: Comparison of the physical optics methods // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2016. V. 182. P. 12–23.

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСШИФРОВКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ РАДИАЦИОННОГО ФОНА ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ

Г.А. Яковлев¹, И.В. Беляева², В.С. Яковлева³, Ю. Йебоах³

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия
yakovlev-grisha@mail.ru

Мониторинг радиационных величин, т.е. характеристик атмосферных полей ионизирующих излучений ведется во всем мире. Научная общественность давно подтвердила и исследовала на качественном уровне влияние метеорологических условий на гамма-фон. Однако лишь в последнее время появляются модели, которые устанавливают количественную взаимосвязь радиационных и метеорологических величин, которую можно использовать для изучения динамических процессов в приземной атмосфере.

Анализ научных результатов и мировых тенденций показывает своевременность, оправданность и осуществимость разработки технологии, позволяющей по радиационным величинам производить количественные оценки характеристик погоды и состояния окружающей среды. Выявление и классификация отличительных признаков влияния различных метеофакторов и явлений на радиационные величины, позволит разработать методы для оценки явления как имеющего естественное или искусственное происхождение.

Решение вышеописанной задачи позволит поднять на качественно новый уровень радиационный мониторинг, сделать его многофункциональным, добавив возможности получения новых данных о процессах и явлениях в окружающей среде, расширить области применения радиационных величин не только в качестве трассиров-индикаторов радиационных инцидентов, но и для декомпозиции радиационного фона на явления природного и искусственного происхождения.

В рамках данной работы были разработаны и программно реализованы алгоритмы для расшифровки рядов данных с возможностью дальнейшей классификации. Полученные наборы событий численно оцениваются для получения основных параметров временной динамики гамма-фона, которые могут быть использованы в разработанных моделях для оценки или получения динамики метеорологических величин.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНЫХ ОСАДКОВ ПО ДАННЫМ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Г.А. Яковлев¹, С.В. Смирнов²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

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

Довольно сложной на сегодняшний день является задача определения характеристик снежных осадков. Существующие методы прикладной метеорологии позволяют определять только количество осадков за 12 ч, время начала и окончания осадков определяется визуально, и только в рабочее время. Анализ многолетних рядов данных показал наличие отклика радиационного фона на твердые атмосферные осадки, однако, решение задачи усложняется тем, что каждый новый слой снега представляет собой как дополнительный источник излучения, так и экран для излучения нижележащих осадков. Для создания метода определения характеристик твердых атмосферных осадков по радиационному фону требуется разработка математической модели динамики дочерних продуктов распада радона и торона, осаждаемых на земную поверхность и снежный покров атмосферными осадками, построение физической модели системы «грунт–снежный покров–снежные осадки–атмосфера» для проведения расчетов переноса бета- и гамма-излучений с помощью инструментария Geant4

и метода Монте-Карло, с привлечением результатов моделирования активности осажженных осадками радионуклидов, а также результатов анализа экспериментальных данных о влиянии твердых осадков на величину и динамику радиационного фона приземной атмосферы.

В рамках проекта будут разработаны методы определения интенсивности и количества снежных осадков по радиационному фону, отличающиеся от аналогов высоким временным разрешением, внедрение этих методов в практику прикладной метеорологии позволит получать новые знания об особенностях влагообмена в холодный период года.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВЫМЫВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ДОЖДЕВЫМИ ОСАДКАМИ ПО ГАММА-ФОНУ

Г.А. Яковлев¹, В.С. Яковлева², А.А. Кобзев³

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

*³Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
yakovlev-grisha@mail.ru*

Атмосферные аэрозоли оказывают прямое воздействие на глобальный радиационный бюджет и оказывают широкое влияние на климат, экосистему и здоровье. Наблюдаемые уровни общего содержания твердых частиц являются мерой стандартов качества воздуха, однако ультратонкие и тонкие частицы имеют высокие концентрации в наблюдаемых уровнях общего количества твердых частиц, большое отношение поверхности к объему, более длительное время пребывания в атмосфере, высокую долю стойких органических соединений и могут проникать глубже в дыхательную систему. Поэтому они могут оказывать значительное влияние на смертность и заболеваемость, вызванные респираторными заболеваниями. Известно, что коэффициент вымывания радиоактивных и нерадиоактивных аэрозолей зависит от интенсивности осадков, распределения частиц по размерам и их конечных скоростей.

Для определения коэффициента вымывания радиоактивных аэрозолей сначала было произведено моделирование временного спектра гамма-фона по измеренной лазерным и челночным осадкомерами динамики интенсивности. Анализ результатов сравнения восстановленной и реальной динамики гамма-фона во время осадков позволил разработать метод определения коэффициента вымывания радиоактивных аэрозолей дождевыми осадками по гамма-фону. Рассчитаны коэффициенты и проведен анализ их зависимости от интенсивности осадков, размера и скорости падения капель.

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

ШИРОТНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОННОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ОКЕАНОМ МЕЖДУ АФРИКОЙ И АНТАРКТИДОЙ

О.И. Хуриганова^{1,2}, Л.П. Голобокова², Д.М. Кабанов¹, В.В. Полькин¹,
В.Ф. Радионов³, О.Р. Сидорова³, С.М. Сакерин¹

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

²Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

³Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
khuriganowa@mail.ru

Рассматривается ионный состав аэрозоля, отобранный во время морских экспедиций от Африки до Антарктиды. Общей особенностью пространственного распределения ионного состава аэрозоля (кроме NH_4^+ и NO_3^-) является уменьшение концентраций основных ионов от Африки к Антарктиде. Самый большой диапазон широтной изменчивости наблюдается у ионов Cl^- , Na^+ и Mg^{2+} : их средние концентрации уменьшаются в 10–15 раз. Концентрации ионов SO_4^{2-} , Ca^{2+} и K^+ изменяются в 4–6 раз. Величина широтного изменения NH_4^+ и NO_3^- меньше стандартного отклонения в отдельных широтных зонах. Анализ долевых факторов показал, что основной вклад в ионный состав аэрозоля на большей части исследуемого региона вносят морские источники: $\text{FM}_{\text{sea}} \approx 0,88$. Об этом же свидетельствуют коэффициенты обогащения: величина K_i ионов Cl^- и Mg^{2+} на всех широтах близка к единице (содержание ионов как в морской воде).

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

ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В УЛИЧНОЙ ПЫЛИ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Н.А. Осипова¹, К.Ю. Осипов², А.С. Кутищев³, А.В. Таловская¹, Е.Г. Язиков¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

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

³Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия
osipova@tpu.ru

Урбанизированные территории загрязняются пылью, содержащей частицы разного размера при сжигании топлива, а также в других производственных процессах. Более мелкие частицы перемещаются на большие расстояния с воздушным потоком, попадают в организм человека и могут являться причиной различного рода заболеваний. Особое место среди веществ в составе уличной пыли занимают полиароматические углеводороды. Летом 2021 г. пробы уличной пыли были отобраны на территории г. Междуреченск Кемеровской обл., в регионе, где угледобывающая и углеперерабатывающая отрасли являются градообразующими. Анализ проводился согласно ГОСТ Р ИСО 12884-2007, на хромато-масс-спектрометре SCIION SQ Select № GSQC1312F14 (св-во № НФ 50280-2020 до 07.07.2022).

Получены новые данные о содержания 14 полиароматических углеводородов с суммарным содержанием $2,148 \pm 0,364$ мг/кг, что отличается от литературных данных для образцов уличной пыли 20 городов мира, включая Москву.

Установлено, что по уменьшению среднего содержания индивидуальных ПАУ, в мг/кг, соединения образуют следующий ряд:

Бензо(а)пирен ($0,519 \pm 0,112$) > Бензо(к)флуорантен ($0,296 \pm 0,001$) > Фенантрен ($0,278 \pm 0,048$) > Флуорантен ($0,232 \pm 0,037$) > Нафталин ($0,190 \pm 0,110$) > Бензо(g,h,i)перилен ($0,183 \pm 0,055$) > Пирен ($0,157 \pm 0,035$) > Бенз(а)антрацен ($0,138 \pm 0,022$) > Хризен ($0,101 \pm 0,02$) > Аценафтен ($0,031 \pm 0,007$) > Антрацен ($0,013 \pm 0,007$) > Бензо(в)флуорантен ($0,004 \pm 0,001$) > Дибенз(a,h)антрацен ($0,003 \pm 0,001$) > Флуорен ($0,003 \pm 0,001$).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-05-00675 А). Исследования выполнены в НИ ТПУ в рамках программы повышения конкурентоспособности ТПУ среди ведущих мировых исследовательских центров.

1. *Zavgorodnyaya Y.A., Chikidova A.L., Biryukov M.V., Demin V.V.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric particulate depositions and urban soils of Moscow, Russia // *Journal of Soils and Sediments*. 2019. V. 19. P. 3155–3165.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ НА БАКЧАРСКОМ БОЛОТЕ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.К. Давыдов¹, Е.А. Дюкарев^{2,3}, А.А. Плотников¹, А.В. Фофонов¹

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

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

³*Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия
alenfo@iao.ru*

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

В докладе приводятся данные мониторинга потоков двуокиси углерода (CO₂) и метана (CH₄) в характерных растительных ассоциациях на Бакчарском болоте в Томской области в летний период 2022 г. Круглосуточные наблюдения за газовыми потоками из почвы проводились с помощью двух измерительных камерных комплексов «FluxNIES» [2] и одной станции, измеряющей потоки CO₂, тепла и влаги методом турбулентных пульсаций. В состав станции пульсационных измерений входили газоанализатор Licor Li-7500DS и ультразвуковой анемометр uSonic-3 Metek Cage MP.

Полученные данные сравниваются с результатами предыдущих многолетних исследований, анализируется межгодовая и пространственная изменчивость поглощения атмосферного углерода и его эмиссии в изучаемых болотных экосистемах. Рассматривается влияние погодных условий, приводящих к снижению поглощения CO₂ болотной растительностью и падению эмиссии CH₄, а также многолетнее поведение почвенных вод на территории проведения исследований.

Сравнение измерений потоков CO₂ в грядово-мочажинном ландшафте олиготрофного болота двумя различными методами показывает качественное совпадение их сезонного поведения. В тоже время, количественные показатели стока CO₂ на болотную поверхность полученные системой регистрации турбулентных пульсаций превосходят результаты камерного комплекса, что можно объяснить разностью в площади охвата проводимых измерений и структуры ландшафта.

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

1. *Pavelka M. et al.* Standardisation of chamber technique for CO₂, N₂O, and CH₄ fluxes measurements from terrestrial ecosystems // *Int. Agrophys.* 2018. V. 32. P. 569–587. DOI: 10.1515/intag-2017-0045.
2. *Davydov D.K., Dyachkova A.V., Simonenkov D.V., Fofonov A.V., Maksyutov S.S.* Application of the automated chamber method for long-term gas flow measurements in swamp ecosystems of the West Siberia // *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2021. V. 12, N 1. P. 5–14. DOI: 10.17816/edgcc48700.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ИМПАКТОРЕ NANOMOUDI 125R В ОБСЕРВАТОРИИ «ФОНОВАЯ» В 2021–2022 гг.

М.Ю. Аршинов¹, Б.Д. Белан¹, С.Б. Белан¹, В.С. Бучельников¹, Л.П. Голобокова²,
Д.К. Давыдов¹, Г.А. Ивлев¹, А.В. Козлов¹, А.С. Козлов³, Н.А. Онищук², Д.В. Симоненков¹,
Г.Н. Толмачёв¹, Т.В. Ходжер², А.В. Фофонов¹

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

²*Иркутский лимнологический институт СО РАН, Россия*

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

В обсерватории «Фоновая» осенью 2021 г. установлен 13-каскадный импактор высокого разрешения 125R NanoMoudi-ИТМ, предназначенный для отбора проб аэрозоля с номинальными точками его отсежки: 10000, 5600, 3200, 1800, 1000, 560, 320, 180, 100, 56, 32, 18 и 10 нм. В импакторе могут использоваться многие типы

подложек-фильтров. В сентябре–ноябре 2021 года последовательно были опробированы три типа подложек: алюминиевая фольга, кварцевые и тефлоновые фильтры. Вторая пробная экспозиция с 17 по 22 октября 2021 г. производилась на кварцевые фильтры, с целью опробирования методики исследования ионно-элементного состава фракций приземного фоновоздуха. Анализ проб производился в Иркутском лимнологическом институте СО РАН методами ионной хроматографии и ИСП-МС. Третья пробная экспозиция произведена 22 октября – 4 ноября 2021 г. на тефлоновые фильтры Grimm 1.113A, с целью опробирования методики анализа органического состава аэрозолей методом ГХ-МС в ИХКГ СО РАН.

Анализ ионной компоненты в первой кварцевой серии показал, что среди самых мелких (< 10 нм) вновь образующихся частиц фиксируются только пять ионов: SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ , Na^+ , H^+ . Ионы аммония (NH_4^+) обнаруживаются только в субмикронной моде (0,1–1,0 мкм). Нитраты (NO_3^-) начинают появляться в составе частиц в моде Айткена и их вклад возрастает в субмикронной и грубодисперсной фракциях.

С февраля по август 2022 г. отобрано 6 кварцевых серий, состав которых также анализируется опробированными в конце 2021 г. методиками.

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

ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИИ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ И СУММАРНОГО БЕЛКА ОТ МЕТЕОУСЛОВИЙ В ОКРЕСТНОСТИ г. НОВОСИБИРСКА

А.С. Сафатов¹, Н.А. Лаптева¹, С.Е. Олькин¹, И.С. Андреева¹, Н.А. Соловьянова¹,
Г.А. Буряк¹, И.К. Резникова¹, М.Р. Кабилов²

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

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

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

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

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

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

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

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВИРУСОВ В ОБРАЗЦАХ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

А.Д. Мошкин¹, О.В. Охлопкова¹, А.А. Маслов^{2,3}, М.Ю. Карташов¹, И.С. Андреева¹, Б.С. Малышев¹,
Т.В. Трегубчак¹, А.Н. Швалов¹, Е.М. Астахова¹, В.А. Терновой¹, А.С. Сафатов¹, Б.Д. Белан⁴

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

²ФГБНУ Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины,
г. Новосибирск, Россия

³ФГБНУ Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск, Россия

⁴ФГБНУ Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
moshkin_ad@vector.nsc.ru

Цель работы – исследование проб атмосферного аэрозоля на наличие генетического материала вирусов с оценкой генетического разнообразия.

Отбор проб воздуха производился стандартными методами вблизи локального источника потенциально патогенного биоаэрозоля в Новосибирской области, а также в процессе самолетного зондирования над Западно-сибирским регионом.

Анализ проб биоаэрозолей производился с применением методов NGS секвенирования на платформе Illumina MiSeq. Данные, полученные в результате секвенирования, показали наличие фрагментов вирусных геномов во всех исследуемых образцах. В образцах, полученных в результате самолетного зондирования, было обнаружено более 910 различных типов фрагментов вирусов, в том числе бактериофагов. Были идентифицированы вирусы: Human mastadenovirus C (HAdV-C), Cercopithecine betaherpesvirus 5, Invertebrate iridescent virus 31, Only Syngen Nebraska virus 5, Chrysochromulina ericina virus, Chrysochromulina parva virus, Microplitis bicoloratus bracovirus, Pandoravirus inopinatum и другие. В образцах, полученных от локального источника, значительное количество обнаруженных фрагментов вирусов относится к таким классам и подклассам, как: d_Viruses|k_Orthornavirae, d_Viruses|k_Orthornavirae|p_Pisuviricota, d_Viruses|o_Caudovirales, d_Viruses|k_ararnavirae, d_Viruses|k_Heunggongvirae.

Накопление аналогичных данных в дальнейшем даст возможность отследить межгодовые и сезонные изменения разнообразия вирусных геномов в атмосфере. Полученные данные позволят более точно оценить «вирусный фон» атмосферы в регионе, что необходимо для понимания потенциальной опасности для человека присутствующих в атмосфере вирусов.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Роспотребнадзора.

АНАЛИЗ РНК МИКРОБИОМА ДВУХ ВОДОЕМОВ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ИСТОЧНИКОВ БИОАЭРОЗОЛЯ

Е.М. Астахова, А.Н. Швалов, О.В. Охлопкова, Т.В. Трегубчак, А.С. Сафатов

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

Водные поверхности являются мощными источниками биоаэрозоля. В работе представлены результаты исследования воды на содержание микроорганизмов и других биологических объектов методом метабаркодинга, нацеленном на получение неизвестных геномных РНК фрагментов. Пробы воды получены из водоемов с достаточно стабильной экосистемой и сезонным влиянием на неё большого количества перелетных водоплавающих птиц. Отбор проб проводился в сентябре 2021 г., в период отлета водоплавающих перелетных птиц на двух водных объектах Новосибирской области: озеро Сектинское и пруд в Академгородке. Было отобрано по 50 мл воды из разных локаций. Произведено обогащение выделенной РНК и определены характерные нуклеотидные последовательности с использованием современного оборудования для расшифровки структуры нуклеиновых кислот (методом секвенирования нового поколения, прибор Illumina MiSeq). В результате дальнейшего таксономического анализа полученных РНК фрагментов были обнаружены следы содержания в воде некоторых семейств вирусов, в том числе вызывающих респираторные инфекции птиц, животных и человека. А также рибосомные РНК-последовательности эукариот, грибов и бактерий.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Роспотребнадзора ГЗ 11/21.

НАЛИЧИЕ КЛАСТЕРОВ В СОСТАВЕ ПЫЛЬЦЕВОГО АЭРОЗОЛЯ, ПРОДУЦИРУЕМОГО АНЕМОФИЛЬНЫМИ РАСТЕНИЯМИ СИБИРИ, ПОСТУПАЮЩЕГО В АТМОСФЕРУ

В.В. Головкин¹, Г.А. Зуева², Т.И. Киселева²

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

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

Пыльца анемофильных растений – неизменная компонента атмосферного аэрозоля. Её распространение в атмосфере – физический процесс, необходимый для семенного размножения анемофильных растений. Эффективность переноса ветром пыльцевых частиц определяется скоростью их оседания, которая, в свою очередь зависит от кластерного состава пыльцевого аэрозоля.

Приведены результаты исследования эмиссии в атмосферу пыльцы анемофильных видов растений, произрастающих в Западной Сибири. Оценена доля кластеров из двух или большего числа пыльцевых зерен (ПЗ) от суммарного числа пыльцевых частиц (ПЧ), поступающих в атмосферу. Показано, что подобные кластеры в значительных количествах образовывались во всех сериях опытов. Установлена процентная доля пыльцевых кластеров от общего числа пыльцевых частиц и доля пыльцевых зерен в составе кластеров.

СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЯ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД 2022 г.

Е.С. Луцкий, М.Ю. Шиховцев, О.И. Хуриганова

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

Работа посвящена изучению динамики содержания общей ртути в атмосферных осадках Южного Прибайкалья на станции мониторинга Листвянка (51,9° с.ш., 104,4° в.д.) за период с 23.05.2022 г. по 8.08.2022 г. Подготовка проб для химического анализа и измерение концентраций ртути в них выполнялась по методике ПНД Ф 14.1:2:4.271-2012 по методу А (перманганатная минерализация).

Средняя концентрация общей ртути в атмосферных осадках на ст. Листвянка весной и летом 2022 г. равна ~ 25 нг/м³. Наибольшие концентрации Hg зафиксированы в осадках, выпавших в начале сезона. Наименьшие – в конце июля (с 22 по 30 июля).

Для выявления влияния метеорологических факторов и переноса воздушных масс на изменение химического состава атмосферных осадков на территории Южного Прибайкалья была использована модель HYSPLIT. По архивным метеорологическим данным GDAS были построены обратные траектории движения воздушных масс.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

В.А. Бакиров

*ООО «СитЭйр», г. Новосибирск, Россия
bakirov-va@cityair.io*

В настоящее время в массовом сегменте для измерения концентрации атмосферных загрязнителей все чаще применяются электрохимические сенсоры благодаря их доступности, компактности, высокой чувствительности, неприхотливости и низкому энергопотреблению. С другой стороны, их показания подвержены влиянию помимо измеряемых веществ также и множества сторонних факторов, таких как температура, влажность, давление атмосферного воздуха, наличие второстепенных примесей.

В работе рассмотрены количественные метрики оценки качества математических моделей и предложен кусочно-регрессионный алгоритм калибровки датчиков, показавший хорошее количественное соответствие абсолютного среднего отклонения и среднего смещения прогноза по сравнению с классическими регрессионными алгоритмами. Представлены результаты сравнений предложенного алгоритма с классическими алгоритмами машинного обучения в различных условиях.

1. *Laurent Spinelle M.G.* Field calibration of a cluster of low-cost available sensors for air quality monitoring. Part A: Ozone and nitrogen dioxide // European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Environment and Sustainability (IES), Air and Climate Unit, Via Enrico Fermi 2749, 21027 Ispra, VA, Italy. 2015.
2. *Zimmerman N.* A machine learning calibration model using random forests to improve sensor performance for lower-cost air quality monitoring. 2018. V. 11. P. 291–313.
3. *Esposito E., De Vito S.* Dynamic neural network architectures for on field stochastic calibration of indicative low cost air quality sensing systems // UTTP-MDB, ENEA, P.le E. Fermi, 1, 80055 Portici (NA), Italy. 2016.
4. *De Vito S., Esposito E., Salvato M.* Calibrating chemical multisensory devices for real world applications: An in-depth comparison of quantitative Machine Learning approaches 2017.

ДИСТАНЦИОННО-НАЗЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В НЕФТЕЮГАНСКОМ РАЙОНЕ ХМАО-ЮГРА

М.Н. Алексеева, Д.В. Фёдоров, И.Г. Ященко, И.В. Русских

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

Цель исследования – выделение зон риска загрязнения лесоболотных комплексов ХМАО в районе действия факельных установок (ФУ) на основе спутниковых данных и анализа органического вещества (ОВ) растительности. Комплексные дистанционно-наземные исследования проводились с использованием данных Landsat 8 (для картографирования растительности и расчета NDVI – вегетационного индекса) и продукта MOD04_3k (для построения карт АОТ – аэрозольной оптической толщины атмосферы, безразмерной величины, которая характеризует ослабление оптического излучения в среде за счёт его поглощения и рассеяния аэрозольными частицами) с пространственным разрешением 3×3 км. В результате наземно-лабораторных исследований проведен анализ состава ОВ в растениях с помощью хромато-масс-спектрометра DFS (Thermo Scientific).

На территории Нефтеюганского района ХМАО-Югра выявлено, что леса подвержены риску аэрозольного загрязнения на площади – 17058,41 га, из них темнохвойных – 1961,21 га (0,2%), светлохвойных – 4335,32 га (0,3%), мелколиственных – 10761,89 (0,9%). Значения АОТ изменялись от 0,005 до 0,2, что указывает на относительно низкую запыленность атмосферы исследуемой территории, за исключением крупных промышленных объектов. В растениях, отобранных вблизи ФУ на месторождении, среди органических соединений установлено преобладание высокомолекулярного алкана C_{31} . Минимальные показатели NDVI наблюдаются на нефтезагрязненном минеральном грунте вблизи ФУ, максимальные – характерны для темнохвойного леса на фоновых участках.

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

ОСОБЕННОСТИ ХРОНОЛОГИЙ СПИЛОВ ЛИСТВЕННИЦ, ПОРАЖЕННЫХ НИЗОВЫМ ПОЖАРОМ 1908 г.

Б.Г. Агеев¹, В.А. Сапожникова¹, А.Н. Груздев², Д.А. Савчук³

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

ageev@iao.ru, sapo@iao.ru, a.n.gruzdev@mail.ru, savchuk@imces.ru

Известно, что крупные лесные пожары являются одним из источников поступления CO_2 в атмосферу. Разработанная нами методика анализа остаточных газов в спилах деревьев позволила сделать ряд выводов о влиянии низового пожара в районе р. Подкаменная Тунгуска произошедшего в 1908 г. в результате взрыва космического тела. Исследования проводились на основе спилов деревьев лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), предоставленных участниками Комплексной самостоятельной экспедиции (КСЭ, Новосибирск, Томск) В.Д. Яшковым и И.К. Дорошиным. Анализ десорбированных под вакуумом из древесины колец спилов остаточных газов проводился оптико-акустическим спектрометром с перестраиваемым CO_2 -лазером. Выявление цикличностей в полученных результатах осуществлялось спектральным и кросс-спектральным анализом высокого разрешения по методу максимальной энтропии. Обнаружено, что событие 1908 г. в районе р. Подкаменная Тунгуска вызвало у большинства переживших катастрофу деревьев накопление CO_2 и H_2O в древесине стволов, сохранившееся около 30 лет. Анализ поведения хронологий газов и ширины колец показал, что катастрофа 1908 г. вызвала смену 4-летней цикличности в хронологиях на 3-летнюю в посткатастрофный период.

Работа выполнена в рамках госбюджетных проектов ИОА СО РАН (FWRU-2021-0009, 121031500340-6) и ИМКЭС СО РАН (FWRG-2021-0003, 121031300226-5).

ФОТОХИМИЯ ДЫМОВ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ (ФОТО-БАК)

А.С. Козлов¹, О.Б. Поповичева², Д.Г. Чернов³, В.П. Шмаргунов³, В.Н. Ужegov³,
М.В. Панченко³, Н. Czech⁴, R. Zimmermann⁴

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

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

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

⁴University of Rostock, Rostock, Germany

kozlov@kinetics.nsc.ru

В настоящее время фундаментальные исследования эмиссий природных пожаров приобретают особое значение для оценки опасного воздействия на окружающую среду и здоровье людей. Основной задачей данной работы является проведение Комплексного Микрофизико-Химико-Биологического Эксперимента в Большой Аэрозольной Камере (ФОТО-БАК) ИОА СО РАН, являющейся в настоящее время крупнейшей аэрозольной камерой в мире. Экспериментальное оборудование камеры дает возможность непрерывных измерений микрофизических, химических и оптических свойств дымовых эмиссий и фотохимического старения.

Проведены циклы экспериментов по характеристике параметров ФОТО-БАК, включающих скорость фотолитиза оксидов азота под действием УФ-ламп, определение потерь на стенках вторичных органических аэрозолей, фотолитиз полуплетучих органических компонентов и оценку пространственной однородности распределения дымов по объему камеры. Разработан подход всестороннего анализа газового и аэрозольного состава дымов при моделировании ночного и дневного времени суток, отобраны пробы дымовых аэрозолей для исследования эволюции физико-химических свойств при старении методами аналитической химии. Проведенные анализы химического состава методом ИК-спектроскопии позволили выявить характерные функциональные маркеры открытого горения и тления сосны и лесного опада [1].

Методами газовой хромато-масспектрометрии и жидкостной хроматографии исследован состав полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), проведен расчет факторов эмиссии ПАУ и оценка уровня канцерогенной опасности аэрозолей горения Сибирских биомасс в момент образования, при темновом и фотохимическом старении.

1. Семенова А.В., Завгородняя Ю.А., Чичаева М.А., Козлов В.С., Поповичева О.Б. Химический состав и токсичность аэрозолей горения сибирских биомасс в Большой аэрозольной камере (г. Томск) // Оптика атмосф. и океана. 2022. Т. 35, № 6. С. 486–494.

ИЗМЕНЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛЬЦЕВЫХ ЧАСТИЦ ВСЛЕДСТВИИ ВЫСЫХАНИЯ ПРИ ИХ ПОСТУПЛЕНИИ В АТМОСФЕРУ

В.В. Головкин

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

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

Изучена пыльца нескольких видов анемофильных растений, являющийся основными продуцентами пыльцевой компоненты грубодисперсной фракции атмосферного аэрозоля в Западной Сибири. Определены объемы и плотности индивидуальных пыльцевых зерен при различных значениях относительной влажности воздуха, произведена оценка скорости высыхания пыльцевых частиц.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА НА БИОСФЕРУ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Т.О. Перемитина, И.Г. Яценко

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

Территории севера Западной Сибири претерпевают ряд изменений в экологическом состоянии, связанные как с добычей и транспортировкой углеводородного сырья, так и с климатическими изменениями. Данные территории обладают важной, экологически-значимой особенностью – ландшафты здесь крайне уязвимы, а природные экосистемы имеют низкую способность к восстановлению. Поэтому разработка различных подходов и методик, основанных на анализе данных дистанционного зондирования Земли для получения количественных показателей, характеризующих экологическое состояние северных территорий, имеет высокую актуальность.

В работе исследовано состояние растительного покрова территории Губкинского нефтегазоконденсатного месторождения, расположенного в лесотундровой зоне на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) в 50 км к юго-западу от г. Тарко-Сале. С применением разработанной ранее методики проведен анализ сезонной динамики значений спектрального вегетационного индекса EVI за периоды вегетации 2016–2020 гг. с 25 мая (145-й день в году) по 14 сентября (257-й день в году). Анализ динамики изменения значений индекса EVI растительного покрова территории Губкинского нефтегазоконденсатного месторождения позволил выявить тенденции его изменений, выявить процессы «озеленения» тундровых ландшафтов, а также определить минимальные и максимальные значения индекса для исследуемой территории, построить карты техногенной нагрузки нефтегазового комплекса.

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

ФОТОНУКЛЕАЦИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ АЛЬДЕГИДОВ В АТМОСФЕРЕ: ВЛИЯНИЕ ТИПИЧНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ГОРОДСКОГО ВОЗДУХА

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

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

Ароматические альдегиды биогенного и антропогенного происхождения являются эффективными аэрозолеобразователями в нижней тропосфере. Зависимость механизма их фотонуклеации и соответственно состава образующихся продуктов от концентраций малых примесей, в том числе участвующих в генерации короткоживущих свободных радикалов, пока мало изучена.

В представляемой работе экспериментально исследован механизм фотонуклеации биогенных ароматических альдегидов в присутствии озона, оксида и диоксида азота – типичных загрязнителей городского воздуха. Фотолитически генерируемые в системе короткоживущие свободные радикалы зарегистрированы в лабораторных условиях при помощи метода спиновых ловушек. На основании полученных данных составлена схема фотонуклеации ароматических альдегидов с гидроксильным и метоксильным заместителями в кольце. Обнаружено, что изменение химической природы свободных радикалов, участвующих в фотонуклеации, приводит к резкой смене механизма процесса, вплоть до полного ингибирования образования аэрозоля.

Проведено кинетическое моделирование процесса фотонуклеации анисового альдегида в присутствии оксидов азота, выявлены стадии, определяющие концентрации короткоживущих радикалов, скорости образования и состав конденсирующихся продуктов. Найдены соединения, измерение концентраций которых в реальной атмосфере может использоваться для оценки концентраций короткоживущих свободных радикалов, участвующих в аэрозолеобразовании. Подобраны последовательности элементарных стадий, позволяющие прогнозировать химический состав образующихся частиц органического аэрозоля и природу функциональных групп на их поверхности, и тем самым оценивать не только влияние на климат, но и биологическое действие частиц, образующихся при различных сочетаниях биогенных и антропогенных выбросов.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ ФОРМАЛЬДЕГИДОМ И КАРБОНИЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

С.В. Михайлюта¹, Г.Г. Дульцева², А.А. Леженин³

¹Ассоциация Экологических Расследований, г. Красноярск, Россия

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

³Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
mikhailuta@gmail.com

Рассмотрена структура выбросов в атмосферный воздух органических соединений на примере г. Красноярска. Среди источников углеводородов кроме химических промышленных предприятий, заметный объём выбросов формируют автозаправочные станции, топливные компании и полигоны отходов.

Показана картина первичных выбросов формальдегида и карбонильных соединений, а также динамика изменения концентраций формальдегида и индекса загрязнения атмосферы в административных районах г. Красноярска. Определен перечень реакционноспособных углеводородов и рассмотрены варианты их трансформации с формированием формальдегида. По результатам отбора и анализа проб воздуха даны оценки удельных показателей образования вторичного формальдегида из реакционноспособных углеводородов в атмосфере г. Красноярска. Обоснованы рекомендации по снижению уровней загрязнения атмосферы города карбонильными соединениями.

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ – ПРИРОДНЫЙ АРХИВ ПОСТУПЛЕНИЯ РАССЕЯННОГО ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА ИЗ АТМОСФЕРЫ (НА ПРИМЕРЕ ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА РЕКИ ОБИ)

В.П. Шевченко¹, С.Н. Воробьев², И.В. Крицков², Д.С. Воробьев², 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
vshevch@ocean.ru

Обобщены результаты исследования рассеянного осадочного вещества (нерастворимых частиц) в снежном покрове водосборного бассейна р. Оби в 2014–2022 гг. Снег отбирали в конце зимнего периода в шурфах до замерзшей почвы или льда на озёрах и реках в предварительно промытые (подготовленные в чистой комнате) полиэтиленовые пакеты и транспортировали в г. Томск при отрицательной температуре. В лаборатории снег растапливали и фильтровали через взвешенные ядерные лавсановые фильтры диаметром 47 мм с порами 0,45 мкм. Состав частиц был изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SEM (Tescan) с микрозондовой приставкой INCA Energy (Oxford Instruments) и масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500.

В фоновых районах концентрация нерастворимых частиц в снеге ниже 5 мг/л. Это незначительно выше, чем фоновые значения для снежного покрова Арктики. Значительно более высокие концентрации частиц были вблизи городов и автомобильных дорог. Взвешенное вещество снега состоит в основном из биогенных и литогенных частиц с примесью антропогенных частиц; доля антропогенных частиц повышается вблизи городов и автомагистралей. В отдельных случаях был зафиксирован дальний перенос литогенных частиц, принесённых по воздуху из расположенных юго-западнее степей и полупустынь, свободных в это время от снега.

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

СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ АНОМАЛЬНО ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИЗЕМНОГО ОЗОНА НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

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

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

Исследование приземного озона представляет значительный интерес с точки зрения его влияния на климат и биосферу в целом. В особенности его отрицательное воздействие на здоровье человека. Поэтому исследование причин формирования его аномально высоких концентраций (кратное превышение предельно допустимых концентраций (ПДК)) является актуальной задачей в настоящее время.

В данной работе была проведена статистическая обработка ряда измерений приземной концентрации озона полученного на TOR-станции в период с 1993 по 2020 г. Определены даты кратных превышений среднесуточных значений ПДК (используя уровень 95 перцентиля). Для полученного массива данных о превышении ПДК были проанализированы: поля приземной температуры воздуха; геопотенциала на уровне 500 гПа; горизонтальных компонент поля скорости ветра на уровне 850 гПа; потенциальная температура на уровне динамической тропопаузы. Данные взяты из архива реанализа Era-5 с пространственным разрешением 1,5° на 1,5°.

В результате было показано, что для всех месяцев обнаруживается идентичный режим циркуляции, характеризующийся повышением приземной температуры воздуха в районе, охватывающем, в том числе, станцию измерения озона. Помимо повышения температуры воздуха для выбранных событий характерно усиление юго-западной составляющей скорости ветра. Эти циркуляционные особенности связаны с развитием меридиональности, вероятно, обусловленной распространением волн в верхней тропосфере умеренных широт. Выявленный циркуляционный режим способствует одновременно трансграничному переносу озона и его предшественников из южных районов, увеличению скорости фотохимического образования озона, а также появлению дополнительного источника газов предшественников озона: природных пожаров.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 19-05-50024 «Микромир» Микрочастицы в атмосфере: образование и трансформация в приземном слое воздуха и свободной тропосфере, радиационные эффекты и влияние на здоровье населения. Измерение концентрации озона выполняется в рамках госзадания ИОА СО РАН.

ОЦЕНКИ ФОНОВОГО СОДЕРЖАНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТИ АЭРОИОНОВ И АЭРОЗОЛЕЙ $PM_{2,5}$ И PM_{10} В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТАХ НА ТЕРРИТОРИИ ХАКАСИИ И ТЫВЫ

М.В. Оглезнева¹, П.М. Нагорский¹, К.Н. Пустовалов^{1,2}, А.А. Саг¹, С.В. Смирнов^{1,2}

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

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
oglezneva.m@yandex.ru*

Известно, что электрически заряженные аэрозольные частицы могут оказывать влияние на облачность, однако численных оценок этих зависимостей и связей, их пространственно-временных особенностей недостаточно для полного понимания как процессов ионизации воздуха в атмосфере. Поэтому необходимы исследования электрического состояния атмосферы нижних слоёв, в различных физико-географических и погодных условиях. В данном сообщении представлены первые результаты экспедиционных исследований, проведённых в различных ландшафтных зонах в Хакасии и Тыве летом 2022 г. В рамках полевых работ были выполнены измерения основных метеорологических, атмосферно-электрических, спектрофотометрических и атмосферно-радиационных величин и содержания ультрадисперсных частиц классов $PM_{2,5}$ и PM_{10} . На основе полученных данных были сделаны оценки электрического состояния и аэрозольного наполнения приземного слоя на территориях с различными ландшафтами и рельефом местности, а также оценки их пространственно-временной изменчивости в условиях «хорошей» погоды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 22-27-00482, <https://www.rscf.ru/project/22-27-00482/>).

ОЦЕНКА КОМПОНЕНТЫ РАДИАЦИОННОГО ФОНА, ОБУСЛОВЛЕННОЙ АТМОСФЕРНЫМИ АЭРОЗОЛЬНЫМИ ПРОДУКТАМИ РАСПАДА РАДОНА И ТОРОНА

Г.А. Яковлев¹, И.В. Беляева²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия

²Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия
yakovlev-grisha@mail.ru

Для оценки компоненты радиационного фона обусловленной атмосферными аэрозольными продуктами распада радона и торона необходимо было определить коэффициенты преобразования от осаждаемой дождем единичной активности гамма-излучающих дочерних продуктов распада радона и торона в создаваемую ими мощность дозы гамма-излучения в зависимости от высоты над поверхностью Земли. Эти коэффициенты были рассчитаны с использованием библиотеки Geant4. В качестве радиоактивного источника были заданы тонкие слои воды, почвы и воздуха высотой 0,1–10 мм. Было исследовано влияние состава среды источника излучения на результат моделирования гамма-фона. Рассматривали случаи с различными плотностями поглотителя (вода, почва, воздух) и атмосферы. Для каждого радионуклида (Bi-212, Bi-214, Pb-212, Pb-214 и Tl-208) был определен его вклад в суммарный гамма-фон. Также была получена численная зависимость роста мощности дозы в период выпадения осадков от положения детектора по отношению к площади, покрытой осадками. Полученные коэффициенты пересчета являются универсальными величинами, так как не зависят от типа почвы (материала), на которую осаждаются радионуклиды при выпадении осадков. Эти коэффициенты могут быть использованы для решения как прямых задач восстановления радиационного фона при выпадении осадков, так и обратных задач определения интенсивности и количества осадков по известному гамма-фону. В данной работе показано, как продукты распада торона влияют на форму отклика гамма-фона в период атмосферных осадков.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО РАДОНА НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

И.В. Беляева¹, Г.А. Яковлев²

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
asdf75@bk.ru

Система обеспечения радиационной безопасности направленной на охрану здоровья людей от воздействия ионизирующего излучения предполагает радиометрический и дозиметрический контроль жилых помещений, а также позволяет оценить дозовые нагрузки на население.

Целью настоящей работы являлась оценка влияния атмосферного радона на формирование уровней радона в воздухе помещений многоквартирного дома при их проветривании. Также было исследовано влияние различных погодных условий, в том числе высота слоя инверсии и направление вертикальной составляющей ветра.

Моделирование проводили с помощью расчетной модели 12-этажного кирпичного дома, с бетонным фундаментом. Для расчета было выбрано помещение, общей площадью 18 кв.м со стандартной высотой стен. Для расчетов плотности потока использовали решение одномерного стационарного диффузионного уравнения, описывающего перенос радона в пористых средах в отсутствие конвекции [1].

По результатам расчетов было обнаружено, что наиболее сильно на общую объемную активность как радона, так и торона оказывают конструкционные материалы и естественная вентиляция. Были построены вертикальные профили объемной активности радона и торона при разных скоростях ветра и разных времен года. Была проведена оценка среднегодовой эффективной эквивалентной дозы (мЗв) для людей, проживающих в предложенном доме.

1. Методы измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов: монография / В.С. Яковлева; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-а, 2011. 173 с.

ВЛИЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ РАДОНА И ТОРОНА В ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ АТМОСФЕРЕ

И.В. Беляева¹, С.В. Смирнов², Г.А. Яковлев³

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия

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

³Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
asdf75@bk.ru

Известно, что радиационный фон приповерхностного воздуха имеет сезонные колебания. Длительный мониторинг радиационного фона, проводимый на экспериментальной площадке ТПУ – ИМКЭС СО РАН, показал, что сезонные колебания радиационного фона связаны с накоплением снежных осадков в виде снежного покрова.

Целью настоящей работы является исследование влияния снежного покрова на формирование вертикальных профилей радона и торона в приповерхностном слое атмосферы.

Математическое моделирование переноса радона в геологической среде с заданными физико-геологическими параметрами и толщиной снежного покрова проводили с помощью расчетной двухслойной модели. Первым слоем в которой являлся слой грунта с заданными характеристиками: плотность, пористость грунта, удельная активность Ra-226 в грунте, коэффициент эманирования радона, коэффициент диффузии радона. Вторым слоем – это слой снега с заданными характеристиками: плотность, пористость снега, коэффициент эманирования радона, коэффициент диффузии радона. Для расчетов плотности потока использовали решение одномерного стационарного диффузионного уравнения, описывающего перенос радона в пористых средах в отсутствие конвекции [1].

Полученные результаты обсуждаются в работе совместно с результатами мониторинга радиационного фона на экспериментальной площадке ТПУ-ИМКЭС СО РАН.

1. *Методы* измерения плотности потока радона и торона с поверхности пористых материалов: монография / В.С. Яковлева; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2011. 173 с.

МЕЖЛАБОРАТОРНОЕ СРАВНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЯ В МОРСКИХ ЭКСПЕДИЦИЯХ 2021 г.

С.А. Попова^{1,2}, Н.А. Онищук³, Ф.А. Дарьин⁴, Д.С. Сороколетов⁴, О.И. Хуриганова³,
А.О. Почуфаров², И.А. Круглинский²

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

³Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

⁴Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск, Россия
popova@kinetics.nsc.ru

Приводятся результаты межлабораторного сравнения измерений элементов в составе атмосферных аэрозолей высоких широт. Содержание К, Са, Тi, V, Cr, Mn, Fe, Со, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Мо, Pb в пробах определялось с помощью рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения [1] и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой [2]. Для сравнения использовались образцы аэрозолей, отобранные в ходе морских экспедиций 2021 г. в районе Северной Атлантики и южной части Северного Ледовитого океана. Образцы были отобраны на фильтры АФА-ХА-20 и характеризуются низкой нагрузкой материала.

В докладе обсуждаются полученные результаты и влияние на них используемых стандартных материалов. Работа выполнена при поддержке РФФ (№ 21-77-20025).

1. Piminov P.A., Baranov G.N., Bogomyagkov A.V., Berkaev D.E., Borin V.M., Dorokhov V.L., Karnaeв S.E., Kiselev V.A., Levichev E.B., Meshkov O.I., Mishnev S.I., Nikitin S.A., Nikolaev I.B., Sinyatkin S.V., Vobly P.D., Zolotarev K.V., Zhuravlev A.N. // Physics Procedia. 2016. V. 84. P. 19–26.

2. Xu G., Gao Y. // Polar Research. 2014. V. 33. P. 23973.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ПО МАРШРУТУ 84 РЕЙСА НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

О.И. Хуриганова¹, И.А. Круглинский², С.М. Сакерин², М.Ю. Шиховцев¹,
Т.В. Ходжер¹, Л.П. Голобокова¹

¹*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*

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

Обсуждаются результаты химического анализа (ионы, микроэлементы) атмосферного аэрозоля, собранного по маршруту 84 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» летом 2020 г. Маршрут проходил, в основном, по акватории Баренцева моря вдоль архипелага Шпицберген. На протяжении всего рейса в составе аэрозоля среди анионов преобладали хлорид-ионы, их долевой вклад составил 22÷45%. Состав катионов был более разнообразным. В первой половине рейса (25 июля – 9 августа) от Кольского полуострова до кромки льда в высокоширотном районе (81,5° с.ш.) в составе аэрозоля главными были ионы Na^+ (13,0÷31,2%) и NH_4^+ (10,3÷30,5%). В этот же период для ионов SO_4^{2-} определена повышенная континентальная составляющая (в среднем 64%), ионы морского происхождения составили в среднем 36%. Во второй половине рейса (11–23 августа) в аэрозоле от хребта Вестнеса, вокруг островов архипелага Шпицберген и до Кольского полуострова преобладали ионы Na^+ (14,8÷29,2%), NH_4^+ (3,6÷25,7 %) и Mg^{2+} (4,5÷23,1%). Для ионов SO_4^{2-} возросла морская составляющая в среднем до 58 %, соответственно снизилась доля ионов континентального происхождения – 42% (в среднем).

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

ГЕНЕРАЦИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И СТОК АЭРОЗОЛЯ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИРОЛИЗА ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЦ САЖИ

В.А. Вяткина, Н.В. Барановский

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

Лесные пожары оказывают влияние на состояние здоровья населения и людей, находящихся на лесопокрываемых и населенных территориях. Горение лесного массива сопровождается продуцированием большого количества различных поллютантов, в том числе и углеродистых частиц сажи [1]. В результате атмосферного переноса частицы сажи могут оказаться в воздухе, которым дышат люди, что может привести к развитию у них кардиореспираторных заболеваний, а также к смертельному исходу [2]. В связи с этим необходимо понимать процессы теплопереноса в элементе лесного горючего материала, осложненного образованием сажевых частиц. Цель данного исследования – математическое моделирование теплопереноса в элементе типичного лесного горючего материала (лист березы) с учетом термического разложения сухого органического вещества и образования сажевых частиц.

Тепломассоперенос в элементе лесного горючего материала описывался нелинейными нестационарными дифференциальными уравнениями теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями. Дифференциальные уравнения были решены методом конечных разностей. В результате были получены распределения температуры и фракций различных компонентов по толщине листа с течением времени для различных сценариев развития лесного пожара. Представленные результаты предлагается использовать для прогноза и оценки лесной пожарной опасности, в том числе, вблизи объектов ОАО РЖД.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-31-51001

1. Castagna J., Senatore A., Bencardino M., D'Amore F., Sprovieri F., Pirrone N., Mendicino G. Multiscale assessment of the impact on air quality of an intense wildfire season in southern Italy // *Science of the Total Environment*. 2021. V. 761. Article N 143271.
2. Invally M., Kaur G., Kaur G., Bhullar S.K., Buttar H.S. Health care burden of cardiorespiratory diseases caused by particulate matter and chemical air pollutants // *World Heart Journal*. 2017. V. 9. P. 303–317.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНО-ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ НАД РОССИЙСКИМ СЕКТОРОМ АРКТИКИ В СЕНТЯБРЕ 2020 г.

П.Н. Антохин¹, М.Ю. Аршинов¹, Б.Д. Белан¹, С.Б. Белан¹, Л.П. Голобокова²,
Д.К. Давыдов¹, Г.А. Ивлев¹, А.В. Козлов¹, В.И. Отмахов³, О.В. Праслова¹,
Т.М. Рассказчикова¹, Д.В. Симоненков¹, Г.Н. Толмачёв¹, А.В. Фофонов¹

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

²*Иркутский лимнологический институт СО РАН, Россия*

³*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
simon@iao.ru*

В первой и второй декаде сентября 2020 г. производилось самолетное зондирование арктических районов России как над всеми морями СЛО и Анадырьским заливом, так и над прибрежными континентальными районами на высотах от 200–500 м до 10–11 км, совмещая профили и площадки. На площадках производился отбор проб. Всего отобрано более 60 проб атмосферного аэрозоля, включая площадки на подлётных к Арктике трэках. Элементный состав определялся атомно-эмиссионным спектральным анализом в химико-аналитической лаборатории ТГУ, ионный состав – ионной хроматографией в лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Иркутского лимнологического института СО РАН.

Характеризуя в целом различия аэрозольного состава атмосферы арктических районов и внутриконтинентального района юга Западной Сибири, можно отметить, что для терригенных элементов в среднем отмечаются

от 2–3 раз (кремний, медь, железо) до порядка величины (алюминий, кальций, магний) более высокие концентрации в южных районах Сибири. Многие микроэлементы (Ti, B, Sr, Mo, Cd, Sb, Co, V) наоборот характеризуют своими превышениями в несколько раз арктическую атмосферу в сентябре. Из ионов фториды и хлориды характеризуют арктическую атмосферу средними превышениями в 2,5–3,5 раза по сравнению с атмосферой юга Западной Сибири.

Работа выполнена по данным, полученным на УНУ Самолет-лаборатория Ту-134 «Оптик», входящего в ЦКП «Атмосфера» и при финансовой поддержке Минобрнауки России (грант № 075-15-2021-934).

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ДИНАМИКУ ДВИЖЕНИЯ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТИЦ

В.А. Архипов, Н.П. Скибина, А.С. Усанина

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

Закономерности движения консолидированной системы частиц (капель, пузырьков или твердых частиц) представляют практический интерес при решении ряда задач, связанных с течением двухфазных потоков. В частности, для построения корректной физико-математической модели, описывающей динамику движения частиц дисперсной фазы в двухфазном потоке, необходимы данные по скорости (коэффициенту сопротивления) частиц в зависимости от физико-химических параметров дисперсной фазы и дисперсионной среды. В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния коэффициента поверхностного натяжения на скорость всплытия кластера монодисперсных пузырьков воздуха в вязкой жидкости. В экспериментах коэффициент поверхностного натяжения на границе раздела «газ–жидкость» варьировался за счёт добавления поверхностно-активного вещества в жидкость. В работе проведен анализ влияния концентрации поверхностно-активного вещества в жидкости на скорость всплытия одиночного пузырька и кластера пузырьков. Экспериментально обнаружено, что, начиная с некоторого размера пузырьков в группе, наблюдается их деформация, проявляющаяся в появлении «хвоста» в кормовой части пузырьков. Получены эмпирические формулы для коэффициента сопротивления кластера пузырьков.

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

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ДИСПЕРСНОСТЬ КАПЕЛЬ В ФАКЕЛЕ РАСПЫЛА ЭЖЕКЦИОННОЙ ФОРСУНКИ

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

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

Определение дисперсного состава капель при распыле жидкости форсунками является актуальной задачей при расчете внутрикамерных процессов в двигателях внутреннего сгорания и в жидкостных ракетных двигателях, в порошковой металлургии, в процессах орошения и пожаротушения распыленной жидкостью и других отраслях техники и технологий. В частности, одной из важных задач повышения эффективности процессов смесеобразования и горения жидких топлив в двигательных установках является снижение размеров капель распыливаемых топлив. Одним из возможных направлений снижения размеров капель является регулирование коэффициента поверхностного натяжения распыливаемой жидкости путем введения поверхностно-активных веществ (ПАВ). При этом реализуется варьирование критериев Вебера и Бонда, определяющих условия дробления капель.

В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния коэффициента поверхностного натяжения жидкости на дисперсный состав капель в факеле распыла эжекционной форсунки. В экспериментах в качестве жидкости использовалась дистиллированная вода, а для изменения коэффициента поверхностного натяжения жидкости применялся додецилсульфат натрия. Для измерения дисперсного состава капель в факеле распыла форсунки использовался оптический метод малых углов индикатрисы рассеяния. Проведен анализ влияния концентрации ПАВ на количественные характеристики дисперсного состава капель в факеле распыла.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 22-79-00092, <https://rscf.ru/project/22-79-00092/>).

ДИНАМИКА ОСАЖДЕНИЯ МОНОДИСПЕРСНОГО КЛАСТЕРА КАПЕЛЬ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

В.А. Архипов, С.А. Басалаев, Н.Н. Золоторёв, К.Г. Перфильева, А.С. Усанина
Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
tarm12376@gmail.com

Закономерности изменения основных динамических характеристик процесса осаждения жидко-капельного аэрозольного облака в поле силы тяжести представляют значительный интерес в задачах, связанных с течением двухфазных сред. В частности, одной из актуальных задач является определение оптимальных параметров сброса хладагента из сливного устройства летательного аппарата в очаг пожара, обеспечивающих повышение эффективности технологии авиационного пожаротушения. Ввиду сложности данного процесса, включающего большое количество определяющих параметров, экспериментальные исследования по данной тематике были проведены в несколько этапов:

- исследование особенностей испарения кластера капель при гравитационном осаждении в высокотемпературной газовой среде;
- исследование влияния скорости внешнего воздушного потока на динамику осаждения кластера капель;
- исследование влияния скорости и температуры внешнего воздушного потока на закономерности осаждения и испарения кластера капель.

Анализ научно-технической литературы по данной тематике показал, что в большинстве экспериментальных работ по исследованию закономерностей осаждения и испарения капель рассматривалось осаждение и испарение одиночных капель или потока последовательно движущихся капель.

В настоящей работе представлены метод и результаты экспериментального исследования особенностей гравитационного осаждения монодисперсного кластера капель, при воздействии внешнего воздушного потока с заданной интенсивностью. Получены эмпирические зависимости для коэффициента сопротивления монодисперсного кластера капель в зависимости от параметров внешнего воздушного потока.

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

«ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА ОТВЕТСТВЕННО ЗА ФИЗИЧЕСКИЙ ПЕРЕНОС SARS-COV-2»: КАК НЕПРАВИЛЬНОЕ ТОЛКОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ИСКАЖЕННАЯ ПРАКТИКА ЦИТИРОВАНИЯ И НЕУМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ ПРИВЕЛО К МАСШТАБНОМУ РАСПРОСТРАНЕНИЮ НОВОГО ЭПИДЕМИЧЕСКОГО «МИФА»

А.Н. Ишматов

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

В эпидемиологии до сих пор существует ряд устаревших «мифов», связанных с распространением респираторных инфекций. В последнее время мы стали свидетелями возникновения нового заблуждения о том, что загрязнение воздуха ответственно за физический перенос и распространение SARS-CoV-2. Нет никаких доказательств, подтверждающих идею, стоящую за этим заблуждением. Тем не менее, все больше и больше людей вовлекаются в оживленные дебаты, и количество исследований, посвященных теме переноса SARS-CoV-2 через загрязнение воздуха, быстро растет. В этой работе исследовано происхождение этого заблуждения и проанализированы все опубликованные документы и сеть цитирования, которые способствовали распространению нового эпидемического «мифа».

Результаты показывают, что за возникновением и распространением заблуждения стоят следующие факторы:

- конкретная терминология не всегда четко определена или последовательно используется;
- неправильная интерпретация статистических данных и информации из других источников;
- авторы приводят гипотетический вывод из другого оригинального исследования как подтвержденный факт, тогда как другие исследователи ссылаются на работы этих авторов как на первоисточники и прямые доказательства гипотезы. Эта практика приводит к тому, что появляется множество свидетелей «явления», которого никогда не было.

Таким образом, терминология, используемая в междисциплинарных коммуникациях, должна быть точной и четкой, авторам следует быть осторожными при цитировании неподтвержденных данных (и гипотез), а также при интерпретации статистических данных во избежание путаницы и распространения ложной информации. Это особенно важно сейчас, в эпоху пандемии COVID-19.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФ (грант № 22-27-20111, <https://rscf.ru/project/22-27-20111/>) и финансовой поддержке Администрации Томской области.

ЧТО, ЕСЛИ ВОЗ, CDC И ВСЕ ОСТАЛЬНЫЕ СИЛЬНО ОШИБАЮТСЯ В СВОИХ ОЦЕНКАХ ВДЫХАЕМОЙ ДОЗЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА (ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ)?

А.Н. Ишматов

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

Загрязнение воздуха сопряжено с серьезными рисками для здоровья и смертностью от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний в том числе от COVID-19. Дозиметрия вдыхаемых аэрозолей является основным инструментом оценки риска для разработки пределов воздействия вдыхаемых веществ. Настоящее исследование направлено на обсуждение важной проблемы, которая заключается в существенном занижении дозы вдыхаемых аэрозолей, характерной для большинства используемых методов и подходов. Показано, что проблема «классического взгляда» на осаждение атмосферных аэрозолей в дыхательных путях человека заключается в постулате, что при любых погодных условиях, условия в дыхательных путях являются «стандартными/нормальными» (относительная влажность $RH = 90\text{--}99,5\%$; $T = 30\text{--}37\text{ }^\circ\text{C}$). В таких «классических» условиях гигроскопический рост вдыхаемых частиц ограничивается коэффициентом роста 1,3–1,7 (в редких случаях 4). Это показывают сотни исследований, и считается, что при любых внешних условиях условия в дыхательных путях человека будут «нормальными». Однако это не всегда так и условия в дыхательных путях могут быть перенасыщенными ($RH > 100\%$), что может привести к неограниченному и усиленному конденсационному росту вдыхаемых частиц (коэффициент роста более 10–20). Практически во всех исследованиях и моделях ингаляции/дозиметрии не учитывается чувствительность к RH и, как следствие, не учитывается возможность перенасыщения в дыхательных путях. Таким образом, несмотря на значительный прогресс в понимании дозиметрии аэрозолей за последние десятилетия, следует использовать новую концепцию для разработки рекомендаций по надлежащей валидации моделей ингаляционной дозиметрии и оценках риска, а также для улучшения национальных стандартов качества атмосферного воздуха.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФ (грант № 22-27-20111, <https://rscf.ru/project/22-27-20111/>) и финансовой поддержке Администрации Томской области.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ПЫЛЕВОГО АЭРОЗОЛЯ НА ОПУСТЫНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ГРАДИЕНТНЫМИ И КОРРЕЛЯЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

А.В. Карпов, Г.И. Горчаков, В.М. Копейкин, Р.А. Гушин, О.И. Даценко, Д.В. Бунтов

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

По данным измерений на опустыненных территориях в Астраханской обл. в 2010–2022 гг. корреляционным методом определены вертикальные турбулентные потоки пылевого аэрозоля [1, 2]. Получены оценки скорости выноса аэрозоля с подстилающей поверхности. В августе–сентябре 2021 г. На опустыненной территории вблизи р. Волги в Астраханской обл. были выполнены синхронные измерения турбулентных пульсаций вертикальной компоненты скорости ветра и флуктуаций дифференциальных счетных концентраций частиц пылевого аэрозоля на двух уровнях (3 и 6 м), что позволило определить соответствующие вертикальные потоки пылевого аэрозоля.

Получены оценки вертикальных потоков аэрозоля градиентным методом [3]. Показано, что результаты определения скорости выноса аэрозоля градиентным и корреляционным методами удовлетворительно согласуются друг с другом. Определены вертикальные турбулентные потоки аэрозоля при появлении в пограничном слое атмосферы конвективной когерентной структуры типа ячейковой конвекции. Оценены вклады в суммарные (конвективные) потоки аэрозоля регулярных (квазипериодических) вертикальных движений и турбулентных пульсаций в вертикальный перенос пылевого аэрозоля.

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

1. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Гушин Р.А. // Докл. РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 494, № 2. С. 53–57.

2. Карпов А.В., Горчаков Г.И., Гушин Р.А., Даценко О.И. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2021. Т. 57, № 5. С. 565–574.

3. Гаргер Е.К., Жуков Г.П., Седунов Е.С. // Метеорол. и гидрол. 1999. № 1. С. 5–10.

ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ ЗАНОСАХ ПЫЛЕВОГО АЭРОЗОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРАЗИИ В 2019–2022 гг.

Г.И. Горчаков¹, А.В. Карпов¹, О.И. Даценко¹, В.М. Копейкин¹, Р.А. Гушин¹,
И.А. Горчакова¹, Т.Я. Пономарева²

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

²Гидрометцентр России, г. Москва, Россия
gengor@ifaran.ru

В Евразии сравнительно часто наблюдаются крупномасштабные выносы аэрозоля с опустыненных территорий и, в частности, выносы аэрозоля на Северную Китайскую Равнину из пустыни Такла-Макан [1]. Весной 2022 г. пыльная мгла занимала значительные территории на Ближнем Востоке. В ряде регионов Евразии значительный вклад в замутненность пограничного слоя атмосферы вносят антропогенно обусловленные смоги [2]. По данным AERONET проанализирована изменчивость аэрозольной оптической толщины в запыленной атмосфере. Получены оценки вертикальных распределений аэрозоля в пыльной мгле и смогах с использованием данных космического лидара CALIOP. Определены локальные радиационные эффекты пылевого аэрозоля. Получены оценки массовых концентраций тонкодисперсного и грубодисперсного (пылевого) аэрозоля на Северную Китайскую Равнину. Оценены экологические риски при заносах пылевого аэрозоля и смогах.

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

1. Горчаков Г.И., Даценко О.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Гушин Р.А., Горчакова И.А., Мирсаитов С.Ф., Пономарева Т.Я. Пыльная мгла на Северо-Китайской равнине // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 12. С. 948–955.
2. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Горчакова И.А., Гушин Р.А., Даценко О.И. Смог и дымная мгла на Северо-китайской равнине в июне 2007 г. // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 6. С. 458–464.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ПЫЛЕВОГО АЭРОЗОЛЯ В ВЕТРОПЕСЧАНОМ ПОТОКЕ ПО ДАННЫМ ПЫЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В.М. Копейкин, Г.И. Горчаков, А.В. Карпов, Р.А. Гушин, О.И. Даценко, Д.В. Бунтов

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

Выполненные нами комплексные исследования процессов на опустыненных территориях [1, 2] показали, что в ветропесчаном потоке заряжены не только сольтирующие частицы [3] и подстилающая поверхность, но и генерируемые на подстилающей поверхности частицы минерального пылевого аэрозоля.

В докладе представлены результаты измерений в августе–сентябре 2021 г. на опустыненной территории в Астраханской обл. в ветропесчаном потоке на высотах 4 и 12 см электрических токов, обусловленных переносом заряженных частиц пылевого аэрозоля. Рассчитаны статистические характеристики вариаций указанных токов. Получены эмпирические функции распределения. С использованием данных полевых и лабораторных экспериментов, включая данные измерений напряженности электрического поля, получены оценки действующих на частицы пылевого аэрозоля электрических сил.

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

1. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Гушин Р.А., Даценко О.И. Электризация ветропесчанного потока на опустыненных территориях // Доклады РАН. Науки о земле. 2022. Т. 505, № 1. С. 89–94.
2. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Карпов А.В., Гушин Р.А., Даценко О.И., Бунтов Д.В. Пылевая плазма ветропесчаного потока на опустыненных территориях.
3. Горчаков Г.И., Ермаков В.И., Копейкин В.М., Исаков А.А., Карпов А.В., Ульяненко А.В. Электрические токи сольтации в ветропесчаном потоке // Докл. АН. 2006. Т. 410, № 2. С. 259–262.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ СРЕДЫ НА УЛАВЛИВАНИЕ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЬНОГО ОБЛАКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

А.А. Антонникова, М.Ю. Убоженко

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

Исследование процессов эволюции и осаждения аэрозольных сред представляет интерес в технологиях пыле-каплеулавливания, занимающих весомое место в современном мире. Эффективным способом улавливания аэрозольных образований является воздействие внешних физических полей на облако частиц [1]. В работе проведены экспериментально-теоретические исследования поведения аэрозольных частиц под действием электростатического и акустического полей с учетом физико-химических свойств модельных аэрозолей при изменении температуры и влажности среды.

Экспериментальные исследования проводились в климатической камере КТХВ-10 объемом 10 м³ при варьировании температуры и влажности. Электрическое поле, воздействующее на аэрозоль, создавалось электроосаждающим устройством с напряжением на электродах 5–10 кВ, акустическое поле – с помощью ультразвукового аппарата (уровень звука 125 дБ, частота 32 кГц).

Для мелкодисперсных частиц, даже с учетом большой влажности, вклад в уменьшение массы аэрозоля вносит именно испарение, а не коагуляция. Внешние физические воздействия, направленные на ускорение коагуляции, более эффективны для трудноиспаряемых частиц аэрозолей в условиях высокой влажности.

Работа выполнена в рамках базового бюджетного проекта № FUFЕ-2021-0005 «Энергонасыщенные материалы: разработка, создание и применение», при использовании Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

1. *Stepkina M.Y., Kudryashova O.B., Antonnikova A.A.* Sedimentation of a Fine Aerosol in the Acoustic Field and with the Electrostatic Charge of Particles // Archives of Acoustics. 2018. V. 43, N 1. P. 69–73.

ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ В ГИПОТЕЗЕ О ВУЛКАНОГЕННОЙ САЖЕ

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

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

Ранее сотрудниками ИМКЭС СО РАН (Зуев В.В. и др., 2014) была высказана гипотеза о новом возможном источнике стратосферного углеродосодержащего аэрозоля при мощных вулканических извержениях взрывного типа. Анализ основных положений гипотезы показывает ее обоснованность и непротиворечивость, но и недооценку ряда лимитирующих факторов (в первую очередь – величину объемной доли метана в зоне реакции). Данные высотных самолетных пробоотборов свидетельствуют о единичных случаях регистрации высокодисперсных частиц черного углерода в стратосфере, определенно имеющих вулканическое происхождение. Кроме высотных пробоотборов рекомендуется поиск частиц черного углерода в осажденном пепле непосредственно после извержения. По всей видимости, мощные вулканические извержения взрывного типа все же не являются значимым источником черного углерода в стратосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках госзадания ИЕИМ УрФУ по теме FEUZ-2020-0057.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

КОЛЕБАНИЯ ЖИДКИХ ГИДРОМЕТЕОРОВ

Д.Н. Габышев¹, М. Сзакалл², А.А. Федорец¹

¹Тюменский государственный университет, Россия
²Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Germany
gabyshev-dmitrij@rambler.ru

Траектории частиц аэрозолей являются предметом давнего интереса исследователей [1]. Новая работа в этой области [2] была нацелена на закрытие экспериментального пробела, имеющегося в исследовании траекторий капель водного аэрозоля на терминальной скорости в условиях атмосферы (облака, туман, осадки в виде мороси) при малых числах Бонда < 1 в сочетании с достаточно небольшими числами Рейнольдса $\sim 10^2$. Наблюдения проводились на аэродинамической трубе в г. Майнц, откуда отправлялись для последующего дистанционного анализа в г. Тюмень. Положение капель воды на видеозаписях определялось специально написанной компьютерной программой в автоматическом режиме. Проводился частотный анализ полученных траекторий капель. Были выявлены выраженные колебания сферических капель (диаметром 400...700 мкм) как вдоль, так и поперек набегающего воздушного потока. Характерная частота колебаний составляла $\sim 10^1 \dots 10^2$ Гц, амплитуда $\sim 2 \dots 20\%$ от диаметра капель.

Работа поддержана субсидией для господдержки молодых российских ученых (МК-332.2022.1.2) и частичной Министерством науки и высшего образования РФ (АААА-А20-120051490005-9).

1. *Wen C.S.* The Fundamentals of Aerosol Dynamics. Singapore: World Scientific, 2006.
2. *Gabyshev D.N., Szakáll M., Shcherbakov D.V., Fedorets A.A., Dyachkov S.M.* // Atmosphere. 2022. V. 13. P. 1137. DOI: 10.3390/atmos13071137.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА ОСВЕЩЁННОСТЬ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ (РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

С.М. Пригарин^{1,2}, Ш. Ли²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
²Новосибирский государственный университет, Россия
sergeim.prigarin@gmail.com

В работе методом Монте-Карло исследуется освещённость подстилающей поверхности в условиях атмосферной облачности, когда заметное влияние на поле радиации оказывает переотражение солнечного излучения между облачным слоем и подстилающей поверхностью [1–3]. Вычисления проводились для моделей слоистой и разорванной облачности. Показано, что при идеальных условиях (большие значения альбедо поверхности и отсутствие поглощения в облачной атмосфере) освещённость подстилающей поверхности может существенно превышать освещённость на верхней границе облачности. Обсуждается эффект повышенной освещённости подстилающей поверхности около границы тени от разорванной облачности.

Работа выполнена в рамках проекта госзадания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0002 и при частичной финансовой поддержке China Scholarship Council.

1. *Prigarin S.M., Oppel U.G.* Increase of mean radiation intensity and decrease of albedo caused by water clouds: Simulation results // Pure and Applied Optics. A. 1998. V. 7, N 6. P. L79–L83.
2. *Prigarin S.M., Belous E.A., Oppel U.G.* Specific features of radiation regime in atmosphere caused by multiple light reflection between clouds and surface (results of Monte Carlo simulation) // Proc. SPIE. 2001. V.4539, N 2. P. 346–353.
3. *Kablukova E.G., Prigarin S.M.* Monte Carlo simulation of specific features of radiation regime in clouds caused by underlying surface // Proc. SPIE 10035, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 100351N (November 29, 2016).

СЦЕНАРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА ПРИМЕСЕЙ В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Э.А. Пьянова

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

Представлены результаты сценарного моделирования атмосферного мезомасштабного переноса пассивных примесей от высоких источников. В качестве несущей среды выступает атмосфера Байкальского региона. Моделируются варианты развития атмосферных циркуляций в регионе в летний период. Высокие источники имитируют выбросы котельных и ТЭЦ. Рассмотрены сценарии рассеивания примесей от источников выбросов различной высоты. Моделирование выполнено на основе трехмерной негидростатической модели динамики атмосферы и переноса примесей, разрабатываемой в ИВМиМГ СО РАН.

Работа, в части разработки базовых моделей и алгоритмов, выполняется в рамках темы государственно задания ИВМиМГ СО РАН (№ 0251-2021-0003) и при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 20-01-00560) в части реализации специальных сценариев для решения задач продолжения.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О ВЫБРОСАХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ КАДАСТРА ЕМЕР-2019

Д.В. Борисов^{1,2}, И.Н. Кузнецова¹, М.И. Нахаев^{1,2}, Ю.В. Ткачева¹

¹ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», Россия

²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Россия

lbj23.98@mail.ru

В Гидрометцентре России обновлена технология прогнозирования качества воздуха за счет установки последней версии химической транспортной модели (ХТМ) CHIMEREv2020, используются данные антропогенных эмиссий ЕМЕР [1] 2019 г. актуализации. В предшествующей конфигурации технологии использовались данные ЕМЕР 2013 г. представленные на сетке более низкого разрешения – $0,5 \times 0,5$ гр., в ЕМЕР-2019 $0,1 \times 0,1$ гр., и распределенные по 11 источникам – в ЕМЕР-2019 по 15 источникам, для данных ЕМЕР-2013 авторами была разработана и применена технология региональной адаптации для повышения точности расчетов ХТМ [2].

Проведен сравнительный анализ эмиссий ЕМЕР-2013 и ЕМЕР-2019 на территории московского региона, обнаружены количественные изменения выбросов отдельных загрязнителей, улучшение пространственного распределения выбросов.

Сравнение данных о суммарных эмиссиях ЕМЕР-2019 с данными государственной статистики (Росприроднадзор) для территории г. Москва позволило установить количественные и структурные расхождения.

Составлены рекомендации для региональной адаптации данных ЕМЕР-2019.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 169-00039-22-01 ФГБУ «Гидрометцентр России» при поддержке программы развития ННГУ Приоритет-2030 в рамках стратегического проекта «Комфортная окружающая среда».

1. ЕМЕР Centre on Emission Inventories and Projections, gridded emissions. Режим доступа: URL <https://www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions>.
2. Шалыгина И.Ю., Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Борисов Д.В., Лезина Е.А. Эффективность коррекции эмиссий для расчетов химической транспортной модели CHIMERE в московском регионе // Оптика атмосф. и океана. 2020. Т. 33, № 6. С. 441–447.

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ МЕТАНА В АТМОСФЕРУ ИЗ МОРЕЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

В.В. Малахова

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

Данные измерений показывают усиление эмиссии метана в атмосферу арктического региона, что может происходить в результате деградации и увеличения проницаемости субаквальных многолетнемерзлых пород, а также высвобождения газа из мелководных шельфовых газогидратов. Оценки эмиссий метана на шельфе морей Арктики характеризуются высокой неопределённостью.

В работе исследуется влияние источников метана, связанных с подводной мерзлотой арктического шельфа, на увеличение потока газа в атмосферу. Модельный анализ эмиссии метана в атмосферу проведен на основе сценарных экспериментов для периода с 1970 по 2100 г. Модель переноса растворенного метана включена в базовую модель океана и морского льда, разработанную в ИВМиМГ СО РАН [1, 2]. Для расчета потоков на поверхности океана и морского льда использовались данные реанализа атмосферы NCEP/NCAR для периода 1970–2006 гг. и результаты расчетов моделей климатической системы, участвующих в проекте CMIP5 при сценарии антропогенного воздействия RCP8.5 для периода 2006–2100 гг.

Оценена чувствительность эмиссии метана к изменению ледовых условий в регионе. Показано, что моря Восточно-Сибирского шельфа вносят наибольший вклад в общую эмиссию метана. Рассчитанный суммарный поток метана из шельфовых морей Арктики составил около 2 ТгСН₄/год для современного периода. Получена тенденция увеличения эмиссии метана в атмосферу при глобальном потеплении. В проведенных расчетах поток метана с акватории морей арктического шельфа увеличился до 9 ТгСН₄/год к 2100 г.

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

1. Platov G.A., Golubeva E.N., Kraineva M.V., Malakhova V.V. Modeling of climate tendencies in Arctic seas based on atmospheric forcing EOF decomposition // Ocean Dynamics. 2019. V. 69, N 6. P. 747–767.
2. Malakhova V., Golubeva E. Model study of the effects of climate change on the methane emissions on the Arctic Shelves // Atmosphere. 2022. V. 13. P. 274.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ВИРУСА SARS-COV-2 ВОКРУГ ГОСПИТАЛЯ

Н.А. Лаптева, А.С. Сафатов

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

Новая коронавирусная пневмония быстро распространилась по всему миру. Всемирная организация здравоохранения подчеркивала, что коронавирус SARS-CoV-2 распространяется в основном между людьми, находящимися в тесном контакте друг с другом, а также в случае прикосновения к зараженным поверхностям с последующим касанием глаз, носа или рта без предварительной очистки рук. Возможными постоянными источниками распространения вируса могут быть большие скопления больных в госпиталях при несоблюдении требований организации функционирования лечебного учреждения. В этом случае метеорологические условия могут стать ключевым фактором, влияющим на распространение вируса. Проведены расчеты, основанные на использовании современных методов решения системы дифференциальных уравнений пограничного слоя атмосферы, которые адаптированы на описание распространения вредных атмосферных примесей над реальным сложным рельефом местности с учетом городской застройки различной этажности, лесных массивов, водоемов, изменяющихся метеорологических условий и множество других факторов.

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

УТОЧНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ПОЛОСЫ 0–3 ДЛЯ МОЛЕКУЛЫ ¹⁵NO В ОСНОВНОМ ЭЛЕКТРОННОМ СОСТОЯНИИ

О.Н. Сулакшна, Ю.Г. Борков, В.И. Сердюков, Л.Н. Сеница

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

На основе новых экспериментальных данных по частотам переходов в полосе 0–3 для молекулы ¹⁵NO, полученных в ИОА СО РАН, проведено уточнение спектроскопических параметров и проведено сравнение с ранее известными в литературе [1].

1. Teffo J.L., Henry A., Cardinet Ph., Valentin A. // J. Mol. Spectros. 1980. V. 82. P. 348–363.

ТРАЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ВЫНОСА ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ В АРКТИКУ ЛЕТОМ 2016 г.

И.Н. Кузнецова¹, И.Б. Коновалов², Н.А. Головушкин², М.И. Нахаев¹

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

²Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН,
г. Нижний Новгород, Россия
labmuza@mail.ru

Используя данные объективного анализа полей геопотенциала в стратосфере (10 гПа) и средней тропосфере, синоптические карты с фронтальным анализом, выявлены наиболее благоприятные атмосферные условия для выноса продуктов сибирских пожаров в российский сектор Арктики летом 2016 г. К ним относятся западные периферии устойчивых антициклонов и сопряженные с ними теплые сектора активных циклонов. Для них характерно преобладание термической устойчивости, антициклональные инверсии оседания, отсутствие осадков; сопутствующие южные потоки обеспечивают эффективный перенос дымов в заполярные и арктические широты.

На основании траекторного анализа пятисуточного переноса частиц выделены три типа адвекции продуктов горения от значительных очагов пожаров в июле 2016 г.: прямая адвекция, дальний вынос и отсутствие переноса в Арктику. Сделано предположение, что основная доля осаджений ВС от сибирских пожаров в арктическом регионе обусловлена атмосферными процессами первого типа, преобладавшими 10–15 июля. Ареал выноса в этот период в общих чертах совпадает с областью максимального содержания ВС (в основном, море Лаптевых), полученного с помощью моделирования ХТМ CHIMERE. Отраженный траекториями дальний перенос сибирских дымов над субарктическими территориями с последующим выносом в Арктику (в начале и в последние дни июля) также указал на обоснованность модельных расчетов менее значительных очагов выпадений ВС – в Чукотском и Карском морях.

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

ПРИМЕНЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ «ГЕНЕРАТОРОВ ПОГОДЫ» ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

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

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

Рассмотрен подход, позволяющий моделировать комплексы метеопараметров (например, температуры воздуха и его относительной влажности, модуля или ортогональных компонент вектора скорости ветра, количества осадков и др.) как на отдельных метеостанциях, так и на их сети с различным временным разрешением. Предложенный подход основан на представлении комплекса метеопараметров как набора случайных временных рядов с заданными одномерными распределениями и совместной корреляционной матрицей. На основе этого подхода построены численные стохастические модели различных комплексов метеопараметров (так называемые «генераторы погоды»). Будут продемонстрированы 2 примера применения этих моделей. В рамках первого примера показана возможность моделирования временных рядов биоклиматических индексов как функций от реализаций «генератора погоды» на метеостанциях, расположенных в Арктической зоне России. Второй пример иллюстрирует возможность исследования стока реки в зависимости от количества осадков, выпавших в её бассейне. В качестве моделируемого объекта рассмотрен сток р. Слюдянка.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 21-71-00007, <https://rscf.ru/project/21-71-00007/>).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ РЕЧНОГО ПОТОКА В КОНТИНЕНТАЛЬНОМ МАСШТАБЕ

А.И. Крылова¹, Н.А. Лаптева²

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

²ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора, р.п. Кольцово, Новосибирская обл., Россия
alla@climate.ssc.ru

Скорость речного потока имеет решающее значение для моделирования гидрографов стока и времени пребывания воды в гидрологической системе. В работе представлен алгоритм моделирования скорости потока, изменяющейся по пространству и времени, с ограниченным числом параметров. Переменная скорость потока позволяет моделировать суточные колебания речного стока, паводки и качество воды. Параметры могут быть получены из глобально доступных данных и временных рядов стока. Из-за отсутствия данных по измерению скорости течения в бассейне не удалось протестировать сам метод, но наличие суточных наблюдений гидрографов стока на г/п Кюсюр, замыкающем створе реки Лена, позволило провести расчеты маршрутизации по верхностного стока с переменной скоростью и сравнить с данными наблюдений.

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

СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ С ВЫДЕЛЕНИЕМ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЕТРА

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

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

Получена система уравнений гидродинамики с выделением эволюционных уравнений для мезомасштабных вариаций полей температуры и компонентов вектора ветра. С использованием результатов измерений в приземном слое атмосферы рассмотрены вклады различных компонентов, входящих в эти уравнения.

СРАВНЕНИЕ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА, ВЫЧИСЛЕННЫХ С НОВЫМИ ДАННЫМИ ПО ЛИНИЯМ ПОГЛОЩЕНИЯ H₂O В ДИАПАЗОНЕ 15000–25000 см⁻¹ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ

А.В. Ченцов, Б.А. Воронин, С.Н. Михайленко, Т.Ю. Чеснокова

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
cav@iao.ru, vba@iao.ru, semen@iao.ru, ches@iao.ru

Проведено сравнение атмосферного пропускания, вычисленного с использованием новых данных по параметрам линий поглощения H₂O в ближнем ИК- и видимом диапазонах. В моделировании использовались недавно опубликованные версии спектроскопических баз данных HITRAN2020 [1] и GEISA2020 [2], в которых содержатся компиляции расчетных и экспериментальных параметров линий H₂O. Также были рассмотрены теоретические *ab-initio* расчеты основной модификации водяного пара H₂¹⁶O POKAZATEL [3], W2020 [4], Conway [5], VoTe [6]. Кроме того, было проведено сравнение расчетных спектров поглощения H₂O с экспериментальными лабораторными спектрами [7].

Было показано, что имеются значимые различия в модельных спектрах атмосферного пропускания за счет использования разных источников данных по линиям поглощения H₂O, которые могут достигать 20% и более в зависимости от спектрального разрешения и волнового числа.

1. URL: <https://hitran.org/>
2. URL: <https://geisa.aeris-data.fr/>
3. Polyansky O.L., et al. ExoMol molecular line lists XXX: A complete high-accuracy line list for water // Mon. Not. R. Astron. Soc. 2018. V. 480, N 2. P. 2597–2608.
4. Furtenbacher T., et al. W2020: A database of validated rovibrational experimental transitions and empirical energy levels of H₂¹⁶O // J. Phys. Chem. Ref. Data. 2020. V. 49, N 3. 033101.
5. Conway E.K., et al. Use of the complete basis set limit for computing highly accurate *ab-initio* dipole moments // JCP. 2020. V. 152, N 2. 024105.
6. Voronin B.A., et al. The VoTe room temperature H₂¹⁶O line list up to 25 000 cm⁻¹ // Opt. Spectrosc. 2019. V. 127, N 6. P. 967–973.
7. Mikhailenko S.N., et al. Study of H₂¹⁶O and H₂¹⁸O absorption in the 16,460–17,200 cm⁻¹ range using LED-based Fourier transform spectroscopy // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer. 2018. V. 217. P. 170–177.

ТЕСТИРОВАНИЕ НОВОЙ ВЕРСИИ ХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ CHIMEREv2020

М.И. Нахаев^{1,2}, Д.В. Борисов^{1,2}, И.Н. Кузнецова¹

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

²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Россия
muratmeteo@mail.ru

Открытый доступ к обновленной версии химической транспортной модели (ХТМ) CHIMEREv2020 позволил модернизировать действующую в Гидрометцентре России технологию прогноза качества воздуха. CHIMEREv2020 объединена с гидродинамической моделью атмосферы WRF, сохранив возможность использования данных других метеорологических моделей; ХТМ работает в офлайн и онлайн режимах, позволяя учитывать обратные прямые и косвенные эффекты влияния аэрозолей. Для тестирования CHIMEREv2020 использовались последние доступные в ЕМЕП данные о выбросах в атмосферу, представленные на сетке $0,1 \times 0,1^\circ$. Расчеты проводились по онлайн-версии CHIMEREv2020 с горизонтальным шагом модельной сетки 10 км с метеорологическим драйвером WRF для территории, включающей регион Москвы, Владимирскую и Нижегородскую области. Верификация модельных расчетов выполнялась по московскому региону, где имеются данные измерений концентраций загрязняющих веществ с высоким временным и пространственным разрешением. Выявлены характерные особенности модельных погрешностей при расчетах различных загрязняющих веществ. По нижегородскому региону, где отсутствует сеть автоматизированного контроля загрязнения, сделаны экспертные оценки расчетов ХТМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 169-00039-22-01 ФГБУ «Гидрометцентр России» при поддержке программы развития ННГУ Приоритет-2030 проекта «Комфортная окружающая среда».

ПРОФИЛИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ТЕПЛА В КОНВЕКТИВНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СОДАРА

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

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

Рассмотрена одна из возможных методик определения вертикального турбулентного потока тепла в пограничном слое атмосферы в конвективных условиях с использованием результатов работы акустического метеорологического локатора (содара). Данная методика основана на взаимосвязи дисперсии вертикального ветра с потоком тепла. Приводятся результаты анализа этой взаимосвязи в приземном слое (с использованием ультразвуковых метеостанций) с последующим применением в методике дистанционного акустического зондирования (с использованием содара).

СРАВНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ И ПУАССОНОВСКОЙ МОДЕЛЕЙ ОБЛАЧНОСТИ

П. Чжэн¹, Б.А. Каргин^{1,2}, Е.Г. Каблукова²

¹Новосибирский государственный университет, Россия

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия
kablukovaE@sscc.ru

Построены случайные модели сплошной облачности. В первом варианте коэффициент ослабления представлен в виде случайной функции, зависящей от высоты над нижней границей облачности, с использованием спектрального разложения корреляционной функции [1], кроме того построены одномерные и трехмерные модели сплошной облачности на основе потоков Пуассона [2]. Проведено сравнение вероятностей пропускания и отражения солнечного излучения для построенных моделей облачности при различных параметрах излучения и облачного слоя: оценены зависимости интегральных характеристик излучения от оптической толщины и корреляционного радиуса облачного слоя, среднего косинуса индикатрисы рассеяния (для транспортного приближения, индикатрисы Хеньи–Гринштейна, кусочно-постоянной аппроксимации индикатрис из пакета OPAC [3]), вероятности поглощения излучения.

Работа выполнена в рамках проекта госзадания ИВМиМГ СО РАН № 0251-2021-0002.

1. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2005.
2. Михайлов Г.А., Войтишек А.В. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло. М.: «Академия», 2006.
3. Hess M., Koepke P., Schult I. Optical properties of aerosols and clouds: the Software package OPAC // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1998. V. 79, N 5. P. 831–844.

ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСКРОВЫХ РАЗРЯДОВ В АТМОСФЕРЕ

Д.В. Апексимов, А.А. Колмаков

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

Грозовые процессы во все времена привлекали внимание исследователей в силу их большой важности в жизни человека, многообразия и сложности физических явлений, их определяющих. В этой связи представляются актуальными исследования, направленные на установление влияния аэрозолей природного происхождения на активность электрических искровых разрядов в атмосфере. К настоящему времени установлено, что аэрозоли могут стимулировать молниевую активность посредством микрофизического и радиационного эффектов [1, 2]. Комплексное рассмотрение этих эффектов легло в основу численного моделирования динамики грозовых процессов. Данные наблюдений пространственного распределения плотности молний в Западной Сибири за последние 11 лет [3] и результаты теоретических расчетов показали, что аэрозоли природного происхождения оказывают значительное влияние на активность электрических искровых разрядов в атмосфере. А именно, больший размер частиц и их большая концентрация в аэрозоле стимулирует молниевую активность за счет микрофизического эффекта, и могут подавлять молниевую активность за счет радиационного эффекта.

Работа выполнена на Радиофизическом факультете Томского государственного университета.

1. Wang Y. et al. // Atmospheric Chemistry and Physics. 2011. V. 11, iss. 23. P. 12421.
2. Altaratz O. et al. // Environmental Research Letters. 2017. V. 12, iss. 11. P. 9.
3. Тарабукина Л.Д., Козлов В.И., Инокентьев Д.Е. // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2021. Т. 34, № 1. С. 159.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА ГРОЗОВУЮ АКТИВНОСТЬ В ЗАПАДНО-СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ

Д.В. Апексимов, С.А. Белоногов, А.А. Колмаков

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

Исследования грозовых процессов в атмосфере остаются актуальными на протяжении длительного времени. В первую очередь, это связано с возрастанием требований к эффективности защиты объектов жизнедеятельности человека от воздействия грозовых явлений: разрядов молний, повышенных электростатических полей, электромагнитного излучения и т.д. В этой связи представляются актуальными исследования, направленные на установление закономерностей формирования грозового электричества, определения основных физико-статистических параметров молний, пространственно-временных вариаций грозовой активности над различными территориями.

В данной работе исследовалось влияние таких загрязнителей как аэрозоль и электромагнитное излучение, имеющих антропогенное происхождение, на активность электрических искровых разрядов в атмосфере. Численное моделирование динамики грозовых процессов осуществлялось на основе комплексного подхода, учитывающего влияние одновременно нескольких антропогенных загрязнителей в сопряжении с данными наблюдений пространственного распределения плотности молний в Западной Сибири за последние 11 лет [1]. Установлено, что антропогенные загрязнители в Западно-сибирском регионе увеличивают активность электрических искровых разрядов в атмосфере. При этом в городских условиях значительное влияние оказывает антропогенный аэрозоль, по сравнению с электромагнитным излучением антропогенного происхождения. Что приводит к стимулированию грозовой активности за счет микрофизического эффекта, и подавлению грозовой активности за счет радиационного эффекта.

Работа выполнена на Радиофизическом факультете Томского государственного университета.

1. Тарабукина Л.Д., Козлов В.И., Инокентьев Д.Е. // Вестн. КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2021. Т. 34, № 1. С. 159.

О МОНИТОРИНГЕ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

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

*Казанский федеральный университет, Россия
Olga.Khutorova@kpfu.ru*

Для мониторинга атмосферных процессов широко используется всепогодная технология с высоким временным и пространственным разрешением – зондирование тропосферы с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) [1]. В работе решается задача выявления закономерностей связи измеряемых с помощью ГНСС приемников параметров атмосферы с характеристиками конвективных процессов. В работе были построены ряды ZTD и интегрального влагосодержания атмосферы, рассчитанные по наблюдениям ГНСС-приемника в г. Казань за 2009–2021 гг. Используются данные реанализа ERA5 о количестве осадков Total precipitation (TP), доступной потенциальной энергии неустойчивости (CAPE), энергии противодействия конвекции (CIN) [2]. Когерентность и синхронность вариаций интенсивности осадков и потенциальной доступной энергии неустойчивости с вариациями зенитной тропосферной задержки наиболее часто обнаруживается на временных масштабах, меньших 4 ч, при этом уровень вейвлет-корреляции в большинстве случаев больше 0,8.

1. Bevis M.S., Businger T.A. GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System // J. Geophys. Res. 1992. V. 97, N D14. P. 15787–15801.
2. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present [Electronic resource]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Д.В. Апексимов, С.А. Белоногов, А.А. Колмаков

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
belonmd3@gmail.com*

Высокая (и постоянно растущая) насыщенность производства и быта электроаппаратурой с неизбежностью ведет к серьезной экологической проблеме электромагнитного фона, в который погружены существование и деятельность человека. Анализ накопленного экспериментального материала позволяет достаточно обоснованно принять влияние электромагнитных полей от инфранизких до сверхвысоких частот на протекание биологических процессов, эволюцию и жизнедеятельность организмов [1]. Здесь наиболее перспективным представляется так называемый «кибернетический» подход, заключающийся в представлении исследуемой системы в виде «черного ящика» и последующем «просветлении» его по мере измерения входных и выходных характеристик. Переходя затем к смене подсистем, закономерному дроблению начального «черного ящика», применяя различные вариации входных и выходных характеристик, постепенно выясняются определенные закономерности функционирования изучаемой системы в приложенном электромагнитном поле. Использование такого подхода позволило выявить некоторые общие закономерности действия электромагнитных полей на окружающую среду, а именно максимальную выраженность компенсаторных обратных связей, и отсутствие прямой связи эффектов поля, регистрируемых на таких уровнях с характеристиками самого поля. В данной работе электромагнитный фон рассматривался как загрязнитель, влияющий на состояние окружающей среды урбанизированной территории. Исследованы характеристики техногенного электромагнитного фона. Проведены сравнительные оценки опасности ионизирующих и неионизирующих электромагнитных излучений в городских условиях. Работа выполнена на Радиофизическом факультете Томского государственного университета.

1. Плесконос Л.В. // Изв. Юго-Зап. гос. ун-та. Сер. Техника и технологии. 2015. Т. 15, № 2. С. 42–47.

ДИСПЕРСИЯ ПАССИВНОЙ ПРИМЕСИ ОТ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСТОЧНИКА В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЕ: ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Л.И. Курбацкая

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

Представлены результаты компьютерного моделирования рассеяния пассивной примеси от протяженного поверхностного источника над модельным городским островом тепла при слабом ветре, устойчивой термической стратификации атмосферы. Эйлера модель атмосферной диффузии построена на основе трехпараметрической теории турбулентного переноса [1, 2], учитывающей эффект внутренних гравитационных волн, и включает дифференциальные уравнения переноса для средней концентрации и корреляции между турбулентными флуктуациями концентрации и температуры. Для вектора турбулентного потока примеси сформулирована полностью явная анизотропная алгебраическая модель градиентного типа. Эта дисперсионная модель использована для вычисления рассеяния пассивного трассера над урбанизированной поверхностью в простом двумерном тесте моделирования эволюции городского АПС в течение двух суток. Проведено сопоставление результатов моделирования турбулентной диффузии пассивной примеси по алгебраической модели для турбулентного потока массы, физически корректно учитывающей эффекты плавучести, и по простейшей модели Буссинеска без учета эффектов плавучести. Модель Буссинеска существенно занижает как вертикальную, так и горизонтальную диффузию примеси, что приводит к накоплению примеси вблизи поверхности.

Исследование в части развития базовых математических моделей выполнено в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (№ 0251-2021-0003), проведение численных экспериментов в устойчиво стратифицированном пограничном слое атмосферы частично выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 20-01-00560 А).

1. Hase F., Blumenstock T., Paton-Walsh C. // Appl. Opt. 1999. V. 38, N 15. P. 3417–3422.
2. Kurbatskii A.F., Kurbatskaya L.I. Investigation of a stable boundary layer using an explicit algebraic model of turbulence // Thermophysics and Aeromechanics. 2019. V. 26, N 3. P. 335–350.
3. Kurbatskii A.F., Kurbatskaya L.I. An explicit algebraic model of planetary boundary layer turbulence: Test computation of the neutrally stratified atmospheric boundary layer // Thermophysics and Aeromechanics. 2017. V. 24, N 5. P. 705–717.

ПЛАСТИСФЕРА БАЙКАЛА: СЦЕНАРИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Е.А. Цветова

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

Пластисфера – новый термин, который недавно появился в научной среде. Он отражает факт изменения экосистемы планеты под влиянием поступающего в неё пластика. Озеро Байкал, по распространению в его водах микропластика, практически не отличается от Великих американских озер, где загрязнение микропластиком началось значительно раньше, чем в Байкале. Пластик сам по себе химически инертен, но, попав в воду, его микрочастицы способны аккумулировать присутствующие в воде токсичные органические вещества, а также тяжелые металлы. То есть практически микропластик становится в один ряд с другими загрязнителями озера. Поэтому мотивацией исследований является попытка оценить текущее состояние проблемы с учетом специфики озера Байкал. В этом случае целесообразно опираться на имеющиеся разработки по математическому моделированию процессов, протекающих в озере. В связи с большой степенью неопределенности, присущей всем составляющим процесса моделирования природных объектов, начиная от формулировок проблем и постановок задач, и заканчивая интерпретацией результатов моделирования, естественно использовать сценарный подход, который позволяет получить вариантную оценку результатов в зависимости от задаваемых параметров.

В докладе приводятся результаты сценарных расчетов с различными вариантами задания источников загрязнения, связанных с распространением микропластика, а также и параметров, участвующих в моделях. Моделирование выполняется на основе трехмерной негидростатической модели гидродинамики озера и модели распространения примесей.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИВМиМГ СО РАН (№ 0251-2021-0003) при поддержке РФФИ (проект № 20-01-00560).

ВЛИЯНИЕ ОБНОВЛЕНИЙ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

Т.Ю. Чеснокова¹, К.М. Фирсов²

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

²Волгоградский государственный университет, Россия
ches@iao.ru, fkm@volsu.ru

Сделаны оценки влияния неопределенностей в селективном и континуальном поглощении излучения на моделирование длинноволновых потоков на различных уровнях атмосферы. Проведено сравнение потоков и скоростей радиационного выхолаживания, вычисленных с новой версией спектроскопической базы данных HITRAN2020 [<https://hitran.org/>] и предыдущими версиями. Оценен вклад различий в современных моделях континуального поглощения водяного пара на моделирование радиационного форсинга CO₂ в атмосфере.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

И.В. Дель^{1,2}, А.В. Старченко²

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
irina.del@mail.tsu.ru

Одна из главных проблем экологии – проблема загрязненности атмосферного воздуха в городах. Она представляет собой значительную опасность для здоровья человека в повседневной жизни. Неблагоприятные метеорологические условия способствуют накоплению выбросов предприятий и автотранспорта в приземном слое атмосферы. Необходимо прогнозировать содержание загрязняющих веществ в воздухе с учетом неблагоприятных метеорологических условий, дабы избежать повышения уровня загрязнения атмосферного воздуха. В данной работе для решения этой задачи применены искусственные нейронные сети [1] для прогнозирования концентраций PM_{2,5} (твердые частицы размером 2,5 мкм и менее). В качестве входных данных использовались измеренные в 2020-2021 гг. метеорологические данные (в частности, температура, относительное давление, направление и скорость ветра) и концентрации PM_{2,5} в городе Томск.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 19-71-20042) и Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-02-2022-884)

1. Hochreiter S., Schmidhuber J. // Neural Computation. 1997. V. 9, N 8. P. 1735–1780.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОДХОДОВ ЭЙЛЕРА И ЛАГРАНЖА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ

Е.А. Каратаева^{1,2}, Е.А. Шельмина², А.В. Старченко²

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
nebosolnze@gmail.com

Численно решается трехмерная задача распространения примеси от постоянного точечного источника с использованием подходов Эйлера или Лагранжа [1]. При подходе Эйлера численно на структурированной сетке решается трехмерное нестационарное адвективно-диффузионное уравнение, учитывающее ветер, диффузию и интенсивность источника [2]. Аппроксимация дифференциального уравнения осуществлена с использованием полуневяной оригинальной разностной схемы четвертого порядка аппроксимации для адвективных слагаемых, центральных разностей – для диффузионных [3]. При подходе Лагранжа численно явным методом Эйлера интегрируются обыкновенные дифференциальные уравнения для определения компонент скорости и положения для каждой частицы поступающей примеси, по ним вычисляется концентрация примеси в области исследования. Проверка полученных результатов осуществляется сравнением с точным аналитическим решением [2] и с лидарными измерениями.

1. Ньюистадт Ф.Т.М., Ван Дон Х. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей Л.: Гидрометеиздат, 1985.
2. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982.
3. Семёнова А.А., Старченко А.В. Разностная схема для нестационарного уравнения переноса, построенная с использованием локальных весовых интерполяционных кубических сплайнов // Вестн. ТГУ. Математика и механика. 2017. № 49. С. 61–74.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НАД ОБЛАСТЯМИ С КРУТОЙ ОРОГРАФИЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

М.С. Юдин

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

Обсуждается развитие и применение конечно-элементной мезомасштабной метеорологической модели, для расчета распределения атмосферных полей над областями с крутой орографией и различными видами растительного покрова. Модель основана на уравнениях для сжимаемой атмосферы. Используется схема параметризации предложенная Шиллингом для описания воздействия высокого лесного покрова на структуру атмосферного пограничного слоя. Изучено влияние различных типов растительного покрова на распределение метеорологических параметров в условиях крутой орографии. Эти результаты могут быть использованы для целей городского планирования.

Для инициализации рассчитываемых полей исследовалось поведение решения при стремлении к стационарному состоянию. Изучены эффекты бифуркации за счет преобладания нелинейных членов в уравнениях при параметризации растительного покрова. Обычные критерии численной устойчивости для линейных уравнений являются слишком грубыми при наличии сильных нелинейных эффектов. Получены нелинейные критерии устойчивости для различных видов дискретизации в уравнениях членов, описывающих диффузию в вертикальном направлении. Эти критерии переходят в обычные линейные критерии устойчивости когда линейные члены уравнений преобладают над нелинейными.

Работа выполнена при поддержке ИВММГ, государственное задание № 0251-2021-0003.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

А.В. Пененко, В.В. Пененко, Е.А. Цветова, А.В. Гочаков, Е.В. Русин, Э.А. Пьянова, В.С. Скорик

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

Использование разнородных типов данных мониторинга позволяет повысить точность систем анализа и прогнозирования качества воздуха. Ключевой является задача идентификации источников, для решения которой применяется подход с использованием операторов чувствительности моделей переноса и трансформации примесей. Ансамблевая конструкция операторов позволяет естественно комбинировать различные типы данных измерений в одном операторном уравнении [1, 2] и распараллеливать его вычисление. Разработана MPI-версия алгоритма, позволяющая использовать кластер. Структура операторного уравнения позволяет анализировать информативность данных измерений без непосредственного решения обратной задачи. Приводятся результаты работы с модельными и реальными данным для Байкальской природной территории.

Работа выполняется при поддержке гранта № 075-15-2020-787 в форме субсидии на крупный научный проект Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

1. Penenko A., Penenko V., Tsvetova E., Gochakov A., Pyanova E., Konopleva V. Sensitivity operator framework for analyzing heterogeneous air quality monitoring systems // Atmosphere. V. 12, N 12. MDPI AG. P. 1697. DOI: 10.3390/atmos12121697.
2. Penenko A., Penenko V., Tsvetova E., Gochakov A., Pyanova E., Konopleva V. Sensitivity operator-based approach to the interpretation of heterogeneous air quality monitoring data // Large-Scale Scientific Computing, Springer International Publishing. 2022. P. 164–171. DOI: 10.1007/978-3-030-97549-4_19.

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕНОСА И ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ

А.В. Пененко, Е.В. Русин, Е.А. Цветова, В.В. Пененко, Э.А. Пьянова

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

Данные измерения качества воздуха, получаемых системами мониторинга, обычно не полны. Для продолжения полей концентраций из наблюдаемой области в ненаблюдаемую (в пространстве, времени и по химическим веществам) формулируется обратная задача идентификации источников выбросов по данным измерений. Задача идентификации источников рассматривается как вспомогательная для оценки функции состояния модели. Для решения обратной задачи используется подход на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряжённых уравнений [1]. В качестве модели процессов используется трехмерная модель переноса и трансформации примесей в атмосфере. Приводятся результаты численных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 20-01-00560 (в части разработки и анализа алгоритмов продолжения) и темы Госзадания 0251-2021-0003 ИВМиМГ СО РАН (в части алгоритмов решения обратной задачи для трёхмерной модели переноса и трансформации примесей).

1. *Penenko A.* Convergence analysis of the adjoint ensemble method in inverse source problems for advection-diffusion-reaction models with image-type measurements // *Inverse Problems & Imaging*. V. 14, N 5. American Institute of Mathematical Sciences. P. 757–782. DOI: 10.3934/ipi.2020035.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ПРИРОДООХРАННОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПРОЕКТИРОВАНИИ

В.В. Пененко

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

В 70-е гг. прошлого столетия мы находились у истоков создания методов математического моделирования природных процессов в условиях антропогенных воздействий. Основная идеология нашего подхода заключалась в совместном использовании моделей и данных наблюдений. По сути дела – это и есть основная идея цифровизации. На современном этапе она дополняется и расширяется за счет направленности на достижение социальных и управленческих целей.

Среди наших разработок следует отметить концепцию природоохранного прогнозирования и проектирования, основанную на вариационном принципе, включающую решение прямых, сопряженных и обратных задач, и методы вариационного усвоения данных, которые широко применяются в различных учреждениях мира. В современных разработках особое внимание уделяется исследованию неопределенности и чувствительности в моделях и данных при решении прикладных задач. Разрабатываемые нами модели и методы прямым образом вкладываются в современную оболочку «цифровых двойников», в частности, по обеспечению функционирования «умных» городов.

На основе сорокалетнего опыта участия в развитии теории и методов природоохранного прогнозирования и проектирования, обсуждаются вопросы истории, современного состояния и перспектив социально значимой области науки.

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

МОНИТОРИНГ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАПАХОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПОСТОВ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ТРАЕКТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ ВЕЩЕСТВ

Д.Л. Чубаров¹, А.А. Киприянов^{1,2}, Н.Н. Козюлин^{1,3}

¹ООО «СитиЭйр», г. Новосибирск, Россия

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

³Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск, Россия
chubarov-dl@cityair.ru

Развитие технологий производства и калибровки датчиков для детектирования загрязняющих веществ в атмосфере позволили разработать приборы для автоматического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, которые могут быть использованы для решения целого ряда прикладных задач помимо непосредственного контроля состояния и загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах [1]. Одной из таких задач является мониторинг распространения запахов – параметра, количественное определение которого связано с трудностями определения концентраций конкретных пахучих веществ. Использование сопутствующих веществ, таких как сероводород (H₂S) и аммиак (NH₃), для которых существуют технологии и коммерчески доступные сенсоры, в качестве индикаторных представляет собой перспективный подход к мониторингу распространения запахов [2].

В работе представлены результаты непрерывных наблюдений концентраций индикаторных веществ, полученных с помощью сети автоматических постов мониторинга в окрестности животноводческого предприятия, выполнявшихся на протяжении нескольких сезонов. Данные измерений сопоставлены с результатами расчётов распространения примесей на основе траекторной математической модели [3].

По результатам измерений концентраций аммиака получены оценки области влияния предприятия в течение долгого времени при различных атмосферных условиях.

Работа выполнена при поддержке АО «Кудряшовское».

1. *Castell N. et al.* An Update on low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition / R. Peltier (ed.). WMO-1215, 2021.
2. *Guoliang Qu, Moremi M. Omotoso, Mohamed Gamal El-Din, Feddes John J.R.* // Environ Monit Assess. 2008. N 144. P. 277–283.
3. *Brioude J. et al.* // Geosci. Model Dev. Discuss. 2013. V. 6. P. 3615–3654.

ПОСТРОЕНИЕ СЕЗОННЫХ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

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

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

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

Приведены результаты исследования сезонных факторов в метеорологических рядах наблюдений с целью построения тренд-сезонных аддитивной и мультипликативной моделей.

Общий вид аддитивной модели следующий:

$$Y = T + S + E.$$

Аддитивная модель предполагает, что каждое значение временного ряда может быть представлено как сумма его трендовой (T), сезонной (S) и случайной (E) составляющих. В аддитивной модели сезонность выражается в виде абсолютной величины, которая добавляется или вычитается из среднего значения ряда.

Общий вид мультипликативной модели следующий:

$$Y = T \cdot S \cdot E.$$

При мультипликативной модели значение исследуемого ряда можно представить, как произведение его трендовой (T), сезонной (S) и случайной (E) составляющих. В мультипликативной модели сезонность выражается как процент от среднего уровня, который должен быть учтен при прогнозировании путем умножения на него среднего значения ряда.

Таким образом, построение аддитивной и мультипликативной моделей сводится к расчету значений T , S и E для каждого значения исследуемого ряда. Основными этапами при построении моделей являлись:

- сглаживание временного ряда методом скользящей средней с целью удаления краткосрочных колебаний;
- компенсация сдвига сглаженного временного ряда методом центрированных скользящих средних;
- вычисление значений сезонной составляющей;
- удаление сезонной составляющей из исходных значений временного ряда;
- аналитическое выравнивание временного ряда с помощью линейного тренда;
- расчет значений временного ряда, обусловленных влиянием тенденции и сезонности;
- расчет абсолютных и относительных ошибок прогнозирования.

Для тестирования построенных аддитивной и мультипликативной моделей использовались наблюдения с ультразвуковой метеостанции АМК-03 с координатами $56,2282^\circ$ с.ш. и $84,9947^\circ$ в.д., с серийным номером 15409АМК-03, за 2016–2018 гг. Были отобраны следующие метеорологические ряды наблюдений: температура воздуха по сухому термометру, средняя скорость ветра, уровень осадков, относительная влажность воздуха и атмосферное давление на уровне станции и рассчитаны их среднеквартальные значения. По указанным метеорологическим параметрам представлены прогнозные значения на два, четыре и восемь кварталов.

АЭРОЗОЛЬ И КЛИМАТ

ВЛИЯНИЕ ДЫМОВ ЯКУТСКИХ ПОЖАРОВ НА СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В КРАСНОЯРСКЕ В АВГУСТЕ 2021 г.

Н.Я. Шапарев, А.В. Токарев, О.Э. Якубайлик

*Институт вычислительного моделирования СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия
shaparev@icm.krasn.ru*

В 2021 г. в Якутии возникли масштабные лесные пожары, дым от которых достиг г. Красноярска 7 августа и сохранялся несколько суток. Нами была проведена регистрация изменения состояния окружающей среды в г. Красноярске и его окрестности во время присутствия этих дымов 7–9 августа. Имеющаяся в нашем распоряжении система наблюдения позволяла получать данные по метеоусловиям (температуре и влажности атмосферного воздуха, концентрации частиц $PM_{2,5}$, скорости и направлении ветра), температуре почвы и воды в р. Енисей.

Наличие аэрозолей $PM_{2,5}$ вызвало увеличение оптической толщины атмосферы и уменьшение величины проходящей солнечной радиации. Проведенные нами наблюдения в пригороде (пос. Минино) показали уменьшение температуры деятельного слоя почвы и соответственно уменьшение температуры приземного слоя атмосферы, обусловленного турбулентной теплопроводностью воздуха на границе с почвой. Уменьшение температуры воздуха также наблюдалось в г. Красноярске, где в это время была повышенная влажность атмосферы. Температура воды в реке имеет аномальный характер из-за влияния Красноярской ГЭС и ее значение в летнее время изменяется от 10 до 12°С. Адвективное перемещение влажного воздуха над холодной подстилающей поверхностью реки привело к формированию адвективных туманов охлаждения.

Таким образом нам удалось зафиксировать цикл изменения состояния окружающей природной среды, вызванной дымами якутских пожаров. Мы впервые проследили причинно-следственную связь: формирование дымов → экранирование солнечной радиации → уменьшение температуры деятельного слоя почвы → уменьшение температуры приземного слоя атмосферы → формирование туманов на реке Енисей.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Н.Я. Ломакина, А.В. Лавриненко

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

Обсуждаются результаты анализа пространственно-временного распределения среднегодовой, среднесезонной и среднемесячной температуры воздуха в пограничном слое атмосферы (ПСА) Сибирского региона, оцененных по данным наблюдений 24 аэрологических станций за период с 1981 по 2020 г. Показано, что в среднем за год, а также зимой, весной и осенью температура воздуха в пограничном слое атмосферы на территории Сибири убывает в северо-восточном направлении. Летом в ПСА Сибири наблюдается зональное распределение температуры: её уменьшение с юга на север региона. Зимой в пограничном слое атмосферы прослеживаются инверсионное распределение температуры. Весной инверсии температуры наблюдаются в полярных районах всего региона, субполярных широтах Западной Сибири, и в центральных областях Восточной Сибири, осенью – в умеренных и субполярных широтах Восточной Сибири. Наряду со среднегодовым и среднесезонным распределением температуры в пограничном слое атмосферы Сибири были рассмотрены её среднемесячные высотные профили.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ СИБИРИ

Н.Я. Ломакина, А.В. Лавриненко

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

Приведены результаты анализа пространственно-временного распределения влажности воздуха (массовой доли водяного пара) в пограничном слое атмосферы (ПСА) Сибирского региона, проведенного по данным многолетних наблюдений 24 аэрологических станций за период 1981–2020 гг. Показано, что для среднегодовых и среднесезонных значений массовой доли водяного пара зимой, весной и осенью характерно их уменьшение на всех высотах ПСА в направлении с юго-запада региона на северо-восток. Летом влажность воздуха уменьшается от южных широт к северным. Зимний сезон характеризуется инверсионным распределением влаги в пограничном слое атмосферы на всей территории Сибири. Весной инверсии массовой доли водяного пара наблюдаются только в полярных широтах всего региона, а осенью – в субполярных и умеренных широтах Восточной Сибири. Наряду со среднегодовым и среднесезонным распределением массовой доли водяного пара в пограничном слое атмосферы Сибири были рассмотрены также среднемесячные высотные профили влажности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ НА ЗАКИСЛЕННОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В XX в.

А.В. Елисеев¹⁻⁴, Р.Д. Гизатуллин³

¹*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия*

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Россия*

³*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия*

⁴*Московский центр фундаментальной и прикладной математики, Россия
eliseev.alexey.v@mail.ru*

Проведён анализ кислотности осадков по расчётам со схемой серного цикла атмосферы ChAP-1.0 (Chemistry and Aerosol Processes), разработанной для моделей Земной системы промежуточной сложности (МЗСПС), при задании среднемесячных антропогенных эмиссий диоксида серы в атмосферу в 1850–2000 гг. по данным проекта CMIP5 (Coupled Models Intercomparison Project, phase 5), а полей метеорологических переменных – по многолетним средним (с учётом годового хода) данным реанализа ERA-Interim для 1979–2015 гг. Выявлено, что наибольшая кислотность осадков (минимальное рН гидрометеоров) характерна для регионов с высокой интенсивностью антропогенных эмиссий соединений серы в атмосферу – Европы, юго-восточной Азии, востока Северной Америки, юга Африки и запада Южной Америки. В этих регионах в последние десятилетия XX в. типичные значения рН осадков составляют от 2,5 до 3,5, что хорошо согласуется с имеющимися данными измерений. Максимальная кислотность осадков (минимальное значение рН гидрометеоров, близкое к 2) из-за антропогенных соединений серы отмечена на востоке средиземноморского региона. Перенос примесей в атмосфере приводит к тому, что в последние десятилетия XX в. регионы с рН < 3,5 охватывают практически всю Евразию. Влияние этого переноса также заметно и в других регионах средних широт – на юге Северной Америки и на западе Южной Америки. В целом, использование схема ChAP целесообразно для МЗСПС, но после доработки с учётом влияния осадков разного типа на влажное осаждение соединений серы из атмосферы и учёта влияния орографии на перенос примесей в атмосфере.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА ТЕРРИТОРИИ ОБСЕРВАТОРИИ «ФОНОВАЯ»

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

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

За последние десятилетия наблюдается существенное изменение климата. Для теоретических и прикладных задач, связанных с оценкой отклика земной поверхности на изменения климата, первостепенное значение имеет мониторинг температуры почвы. Данные о температуре позволяют судить о чувствительности ландшафтов к антропогенному воздействию, изменению природной среды и климатическим флуктуациям.

Уже более полувека в России наблюдается тенденция устойчивого потепления грунтов. Так по данным Метеорологической обсерватории МГУ за период с 1955 по 2013 г. в Москве происходило устойчивое потепление почвы и грунта со средней скоростью $0,02^\circ\text{C}/\text{год}$ под естественным покровом (от $0,01^\circ\text{C}/\text{год}$ на глубине 40 см до $0,03^\circ\text{C}/\text{год}$ на глубине 240 и 320 см).

Сотрудниками лаборатории климатологии атмосферного состава ИОА СО РАН на территории обсерватории «Фоновая» ($56^\circ25'$ с.ш., $84^\circ04'$ в.д.) в мае 2020 г. начаты измерения температуры на разных уровнях по глубине почвы (0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 160, 200, 240, 280, 320 см).

В докладе приводятся результаты измерения температуры почвы за последние два года. Построены среднемесячные и средние за сезон профили распределения температуры почвы по глубине. Установлены даты перехода температуры почвы от положительных к отрицательным значениям и обратно на разных глубинах.

Исследование выполнено по гранту РФФИ (проект № 19-05-50024). Для выполнения исследований использовалась инфраструктура ЦКП «Атмосфера», при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2021-661).

РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОСРОЧНОГО МОНИТОРИНГА БЕЛКОВОЙ КОМПОНЕНТЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

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

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

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

buryak@vector.nsc.ru

Начиная с 2001 г. в пос. Ключи Новосибирской обл. (координаты $54^\circ50,2'$ с.ш., $83^\circ14,2'$ в.д.), расположенном вдали от промышленных предприятий, 1 раз в сезон в течение 30 дней ведется мониторинг биогенной компоненты проб атмосферного аэрозоля. Отбор аэрозолей осуществляется в течение суток путем прокачки примерно 300 м^3 воздуха через волокнистые фильтры типа АФА-ХА-20.

Масса аэрозоля, осажденного на фильтр, определялась гравиметрическим методом. Для учета изменения веса фильтра в условиях меняющейся влажности он выдерживался в течение 24 ч до и после пробоотбора в эксикаторе с прокаленным силикагелем. Ошибка такого метода не превосходит 20%. Масса суммарного белка в пробах определялась с использованием флуоресцентного красителя [1]. Предел обнаружения суммарного белка на спектрофлуориметре Shimadzu RF-520 с использованием СВQСА составлял $0,0005\text{ мкг}/\text{мл}$ концентрированного образца, ошибка определения его концентрации не превосходила 20%.

В ходе мониторинга выявлен долгосрочный тренд определяемых величин. Среднегодовая массовая концентрации аэрозоля за 21 год наблюдений увеличилась всего на 1,8%, массовая концентрация суммарного белка в аэрозоле осталась неизменной. Соответственно немного уменьшилась доля суммарного белка в массе аэрозоля. Однако, изменения не достоверны на уровне значимости 95%. Выявлен сезонный ход концентрации суммарного белка: летом в среднем белка больше почти на порядок величины нежели зимой.

Работа выполнена при частичной поддержке Государственных заданий Роспотребнадзора.

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

МИКРООРГАНИЗМЫ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ г. НОВОСИБИРСКА, ВЫДЕЛЯЕМЫЕ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Н.А. Соловьянова¹, М.Е. Ребус¹, И.С. Андреева¹, С.Е. Олькин¹, М.Р. Кабилов², А.С. Сафатов¹

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

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

rebus_me@vector.nsc.ru

Приводятся результаты микробиологического анализа образцов атмосферных аэрозолей г. Новосибирска, отобранных в два зимних периода: декабрь 2020 г. – февраль 2021 г. и декабрь 2021 г. – февраль 2022 г. Для отбора атмосферных аэрозолей использована фильтрация атмосферного воздуха с применением армированных тефлоновых мембран Sartorius и компрессоров Нораг одновременно в четырех точках г. Новосибирска и окрестностей, отличающихся антропогенной нагрузкой. Концентрация культивируемых микроорганизмов в разных образцах варьировала от нескольких единиц до $2 \cdot 10^3\text{ КОЕ}/\text{м}^3$, на 1–3 порядка отличаясь от аналогичных данных для образцов летнего периода. Соотношение отдельных таксономических групп также было изменчивым, закономерности в распределении не наблюдались. Значимую концентрацию кокков, используемых

в качестве индикаторов микробной загрязненности атмосферного воздуха, наблюдали в пробах, отобранных как в городской среде, так и в пригородах. При выделяемой общей концентрации микроорганизмов в образце от 50 и до $1,8 \cdot 10^3$ КОЕ/м³ кокки могли составлять от 22,92 и до 100% с преобладанием представителей родов *Staphylococcus* и *Micrococcus*. Выделенные кокковые формы бактерий тестированы на чувствительность к антибиотикам и признаки патогенности. Выявлены полирезистентные штаммы, устойчивые к 4–5 антибиотикам, обладающие ферментами, способствующими развитию инфекционного процесса у человека или животных.

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

МОСКОВСКАЯ ДЫМНАЯ МГЛА В АВГУСТЕ 2022 г.

Г.И. Горчаков¹, Е.Г. Семутникова², В.М. Копейкин¹, А.В. Карпов¹, Р.А. Гуцин¹,
Т.Я. Пономарева³, О.И. Даценко³

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

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

³Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России, г. Москва, Россия

gengor@ifaran.ru

Летом 2022 г. в странах Западной Европы и на Европейской территории России наблюдались волны тепла (жары), которые привели к засухе и созданию условий для возникновения крупномасштабных лесных пожаров. Раньше задымления московского региона наблюдались в 2010, 2014 и 2016 гг. [1, 2].

Во второй половине августа лесные пожары возникли в центральном регионе Европейской территории России и, в частности, в Рязанской обл., что привело к задымлению воздушного бассейна г. Москвы.

Согласно данным мониторинга в августе 2022 г. при задымлениях наблюдались повышенные концентрации аэрозоля и малых газовых примесей.

Проанализированы вариации концентраций сажевого аэрозоля, PM_{2,5} и PM₁₀, а также угарного газа.

Построены обратные и прямые траектории переноса воздушных масс. Показано, что задымление воздушного бассейна г. Москвы было обусловлено, главным образом, перенос задымленных воздушных масс с территории Рязанской обл.

1. Семутникова Е.Г., Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Горчакова И.А., Пономарева Т.Я., Исаков А.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Курбатов Г.А., Кузнецов Г.А. Сибирская дымная мгла над европейской территорией России в июле 2016 г. Загрязнение атмосферы и радиационные эффекты // Оптика атмосфер. и океана. 2017. Т. 30, № 11. С. 962–970.

2. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Ситнов С.А., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Карпов А.В., Лезина Е.А., Емленко А.С., Исаков А.А., Кузнецов Г.А., Пономарева Т.Я. Московская дымная мгла в октябре 2014 г. Вариации массовой концентрации аэрозоля // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 10. С. 872–878.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ОСАЖДЕНИЙ ЧЕРНОГО И КОРИЧНЕВОГО УГЛЕРОДА ИЗ СИБИРСКИХ ДЫМОВ В ВОСТОЧНОЙ АРКТИКЕ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.А. Головушкин, И.Б. Коновалов

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

golovushkin@ipfran.ru, konov@ipfran.ru

Сибирские лесные пожары являются мощным источником дымов, которые распространяются в атмосфере на тысячи километров, в том числе в Арктику. Осаждения компонентов дымового аэрозоля, поглощающих солнечное излучение – черного и коричневого углерода (BC и BrC) на снежно-ледовые поверхности в Арктике могут влиять на радиационный баланс в этом регионе, однако в количественном плане радиационный эффект (РЭ) этих осадений изучен очень слабо.

Данное исследование было нацелено на получение оценок РЭ, вызываемого осадениями BC и BrC из сибирских дымов в восточной Арктике в период с апреля по сентябрь 2016 г. Для расчетов радиационных потоков в атмосфере и их возмущений вследствие вызываемых осадениями BC и BrC изменений альbedo снежно-ледового покрова, использовалась метеорологическая модель WRF, сопряженная с химико-транспортной моделью CHIMERE и моделью для расчета спектрального альbedo снега. В расчетах применялись наблюдательные ограничения, полученные ранее на основе анализа данных спутниковых, наземных и лабораторных измерений дымов. Результаты расчетов указывают на доминирующий вклад сибирских дымов в РЭ осадений BC в восточной Арктике в летние месяцы, а также на значительный вклад BrC в величину суммарного РЭ осадений

BC и BrC. Полученные оценки в целом свидетельствуют о важной роли рассматриваемого РЭ как компонента радиационного баланса в восточной Арктике.

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

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИЙ САЖЕВОГО И СУБМИКРОННОГО АЭРОЗОЛЯ В ЗАДЫМЛЕННОЙ АТМОСФЕРЕ г. МОСКВЫ

В.М. Копейкин, А.В. Карпов, Р.А. Гушин, О.И. Даценко, Г.И. Горчаков

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

Проанализированы межсуточные и внутрисуточные вариации концентрации сажевого аэрозоля в г. Москве в период с 17 по 27 августа 2022 г., когда наблюдался перенос в г. Москву задымленного воздуха во время лесных пожаров в центральном регионе России, включая, Рязанскую область, а также результаты синхронных измерений дифференциальных счетных концентраций аэрозоля и концентрации сажевого аэрозоля.

Приведены примеры результатов измерений функции распределения частиц аэрозоля по размерам. Показано, что повышенные значения счетной концентрации аэрозоля в задымленной городской атмосфере наблюдаются в субмикронном диапазоне [1, 2].

Установлено, что максимальные задымления воздуха в августе 2022 г. наблюдались в ночные часы и утренние. Как показал анализ вариаций аэрозольных параметров с использованием рассчитанных в Гидрометцентре России траектории переноса воздушных масс [3], основным источником задымления г. Москвы 17–27 августа 2022 г. являются летние пожары в Рязанской области.

1. Семутникова Е.Г., Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Горчакова И.А., Пономарева Т.Я., Исаков А.А., Гушин Р.А., Даценко О.И., Курбатов Г.А., Кузнецов Г.А. Сибирская дымная мгла над европейской территорией России в июле 2016 г. Загрязнение атмосферы и радиационные эффекты // Оптика атмосф. и океана. 2017. Т. 30, № 11. С. 962–970.
2. Горчаков Г.И., Копейкин В.М., Ситнов С.А., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Карпов А.В., Лезина Е.А., Емленко А.С., Исаков А.А., Кузнецов Г.А., Пономарева Т.Я. Московская дымная мгла в октябре 2014 г. Вариации массовой концентрации аэрозоля // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 10. С. 872–878.
3. Белоусов С.Л., Пагава Т.С. // Отраслевой фонд алгоритмов и программ «Гидрометслужба». 1998. № 257244 8.00150-01 13.

РАДИАЦИОННЫЙ ФОРСИНГ СИБИРСКОГО ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ В ВОСТОЧНОЙ АРКТИКЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.Б. Коновалов¹, Н.А. Головушкин¹, И.Н. Кузнецова², М.И. Нахаев²,
В.Н. Ужegov³, Т.Б. Журавлева³, И.М. Насртдинов³

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

²ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия

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

Сибирские лесные пожары являются одним из основных источников атмосферного аэрозоля в Арктике, оказывающего существенное влияние на радиационные процессы в этом климатически-важном регионе. Вместе с тем, вклад сибирского дымового аэрозоля в радиационный баланс арктической атмосферы пока изучен слабо.

В данной работе выполнены численные эксперименты с целью изучения мгновенного (прямого) радиационного форсинга, вызываемого сибирскими дымами в атмосфере восточной Арктики. Для расчетов оптических характеристик и радиационных эффектов атмосферного аэрозоля использовались химико-транспортная модель CHIMERE и метеорологическая модель WRF. Особенностью выполненных расчетов является использование в них наблюдательных ограничений, определяемых данными спутниковых и стационарных измерений, а также результатами дымовых экспериментов в Большой аэрозольной камере ИОА СО РАН, для адекватного учета изменений оптических свойств сибирского дымового аэрозоля в процессе атмосферного старения и дальнего переноса дымов. Найдено, учет наблюдательных ограничений приводит к существенному увеличению вычисленных абсолютных значений мгновенного радиационного форсинга атмосферы восточной Арктики дымовым аэрозолем. Вычислены вклады поглощающих компонент сибирского дымового аэрозоля – черного и коричневого углерода – в мгновенный радиационный форсинг атмосферы восточной Арктики сибирскими дымами.

Исследование радиационных эффектов поглощающих компонентов дымов выполнено за счет гранта РФФИ № 19-77-20109. Моделирование эффектов, определяемых рассеянием излучения дымовым аэрозолем, выполнено при поддержке РФФИ (грант № 21-55-15009).

ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ И ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА, ВЫЗВАННЫЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫМИ ПОЖАРАМИ В ЯКУТИИ В 2021 г.

О.А. Томшин¹, В.С. Соловьёв¹, В.С. Стародубцев¹, И.И. Колтовской¹, П.Г. Мордовской²

¹*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, г. Якутск, Россия*

²*Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Россия*

tomshinoa@gmail.com

В 2021 г. Якутия пережила самый сильный пожароопасный сезон за последние четыре десятилетия. В данной работе по данным спутниковых и наземных наблюдений проведен анализ особенностей экстремального пожароопасного сезона и пространственно-временной динамики атмосферных параметров и продуктов горения биомассы. Результаты показывают, что высокой пожароопасности в 2021 г. способствовали положительные аномалии месячной температуры воздуха (август) и отрицательные аномалии месячных осадков (май–июль). Кроме того, усиление лесных пожаров в августе 2021 г. было вызвано наличием устойчивых систем высокого давления, которые способствовали засушливым погодным условиям в регионе, препятствуя переносу влагонасыщенных воздушных масс с западного направления. Низкие скорости ветра, наблюдавшиеся в центре антициклона, привели к накоплению в атмосфере продуктов горения, которые существенно повлияли на прозрачность атмосферы в регионе. Среднемесячная аэрозольная оптическая толщина в июле 2021 г. в центральной Якутии составила 0,82 (MODIS MAIAC) и 1,37 (AERONET), что в 11,6 и 19,4 раз выше соответствующих значений 2007 г., года с минимальным уровнем лесопожарной активности в Азиатской части России и Якутии. Максимальные значения массовой концентрации чёрного углерода в приземном слое воздуха, зарегистрированные на станции «Спаская падь» (62°14' с.ш., 129°37' в.д.) в августе 2021 г., составили 10,6 мкг/м³, а среднемесячные значения – 0,8 мкг/м³ (июль) и 0,4 мкг/м³ (август).

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ В 2021 г.

П.Г. Мордовской, Е.В. Старостин, А.А. Неустроев

Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Россия

mordovskoipg@yandex.ru

Мониторинг черного углерода в атмосфере имеет важное значение в понимании текущего состояния и прогноза устойчивости северных экосистем. Черный углерод (Black carbon) является аэрозолем, выделяемым при неполном сгорании углеродсодержащих веществ, характеризуется относительно недолговременным периодом осаждения, способностью к биоаккумуляции и значительным влиянием на альбедо Земли [1]. Основным источником черного углерода в Якутии являются природные пожары.

Непрерывный мониторинг черного углерода в атмосферном воздухе проводился на лесной научной станции «Спаская падь» в 30 км севернее от г. Якутска (62°14' с.ш., 129°37' в.д.) с использованием абсорбционного фотометра COSMOS BCM3130 (Kanomax, Япония) [2, 3], установленного в рамках международного сотрудничества с Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC, Япония). Массовая концентрация черного углерода определяется как разница изменения отражательной способности рулонного фильтра, которая измеряется двумя фотодиодами, установленными в местах сбора анализируемого воздуха и контрольной (незагрязненной) части фильтра.

Результаты мониторинга 2021 г. показали, что среднегодовое значение массовой концентрации черного углерода составило 0,21 мкг/м³, годовое медианное значение 0,08 мкг/м³, годовое стандартное отклонение 0,6 мкг/м³. В июле получено максимальное среднемесячное значение 0,8 ± 1 мкг/м³, что обусловлено активностью природных пожаров, в октябре получено минимальное среднемесячное значение 0,04 ± 0,07 мкг/м³, как следствие окончания пожароопасного сезона и еще незначительного влияния отопительного сезона.

Работа выполнена в рамках реализации проектов НОЦ «Север: территория устойчивого развития» и государственного задания Минобрнауки РФ FWRS-2021-0047.

1. Bond T. et al. Bounding the role of black carbon in the climate system – A scientific assessment // J. Geophys. Res.: Atmos. 2013. V. 118.

1. Miyazaki Y. *et al.* Performance of a Newly Designed Continuous Soot Monitoring System (COSMOS) // J. Environmen. Monitoring: JEM. 2008. V. 10. P. 1195–201.
2. Miyakawa T., Mordovskoi P., Kanaya Y. Evaluation of Black Carbon Mass Concentrations Using a Miniaturized Aethalometer: Intercomparison with a Continuous Soot Monitoring System (COSMOS) and a Single-Particle Soot Photometer (SP2) // Aerosol Science and Technology. 2020. V. 54. P. 1–24.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ИНДИКАТРИСЫ РАССЕЯНИЯ НА ПОТОКИ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕННО ОГРАНИЧЕННОЙ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ

Б.В. Горячев

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

Исследуется взаимосвязь параметров индикатрисы рассеяния произвольной формы с потоками излучения в пространственно ограниченной дисперсной среде. Показано, что изменение формы индикатрисы рассеяния, представленной в виде интегральных параметров, приводит к перераспределению потоков излучения по осям декартовой системы координат. Изменение величины потоков излучения происходит так же, как при изменении поперечных оптических размеров дисперсной среды. Исследовано влияние индикатрисы рассеяния на распределение потоков излучения в дисперсных средах различной формы и объема. Проведены расчеты при разных значениях вероятности выживания кванта, и коэффициентов анизотропии индикатрисы рассеяния излучения в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Показано, что изменение распределения потоков излучения рассеивающей среды имеет слабо выраженную зависимость от степени вытянутости индикатрисы рассеяния при симметричной дисперсной среде. При нарушении правильности формы оптического сечения дисперсной среды изменение потоков излучения уменьшается при слабо вытянутой индикатрисе рассеяния и практически не зависит от формы среды для анизотропной. С ростом оптического объема дисперсной среды такое изменение уменьшается для любых индикатрис рассеяния излучения.

ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ СИБИРИ КАК ИСТОЧНИК БЕСПРЕЦЕДЕННО ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В АВГУСТЕ 2021 г.

О.Б. Поповичева¹, М.А. Чичаева², В.О. Кобелев², Н. Czech³, Е. Schneider³, С.Р. Ruger³,
R. Zimmermann³, N. Evangeliou⁴, Н.С. Касимов²

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

²*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Россия*

³*Institute of Chemistry, University of Rostock, Rostock, Germany*

⁴*Norwegian Institute for Air Research (NILU), Kjeller, 2007, Norway
machichaeva@gmail.com*

Лесные пожары являются одним из важнейших факторов загрязнения Арктики [1]. Целью данного исследования является анализ состава аэрозолей в шлейфах дымов, переносимых воздушными массами в период беспрецедентного загрязнения воздуха эмиссиями пожаров в Якутии и послуживших причиной сильнейшей дымовой мглы на субарктических и арктических территориях ЯНАО в августе 2021 г. Метод термооптического анализа углерода показал чрезвычайно высокие концентрации органического и элементного углерода до 100 и 40 мкг/м³ в атмосфере г. Надым с 5 по 8 августа 2021 г. Масс-спектрометрический анализ с многофотонной ионизацией определил маркеры горения хвойной древесины и термического разложения целлюлозы и лигнина. В тот же период на аэрозольном комплексе МГУ «Остров Белый» [2] был зарегистрирован экстремальный рост концентрации черного углерода до 4 мкг/м³, которая в 8 раз превысила максимум, наблюдаемый в декабре 2019 г. Расчет переноса воздушных масс с эмиссиями черного углерода по модели Flexpart подтвердил источник мощных дымовых эмиссии на территории республики Саха, где в августе 2021 г. около 105 очагов пожаров, охватили 1,2 млн гектаров леса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-77-30004).

1. Kozlov *et al.* // Phys. Rev. Lett. 2010. V. 210. P. 123–126.

2. Popovicheva O.B. *et al.* // Atmos. Chem. Phys. 2022. V. 22. P. 5983–6000.

ИНВАРИАНТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ В ТЕОРИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ В ДИСПЕРСНОМ СОСТОЯНИИ

Б.В. Горячев

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

Принципы инвариантности и симметрии играют важную роль в физике. В оптике инвариантные соотношения используются для расчета оптических систем, в теории переноса излучения такие соотношения применяются для получения характеристик радиационного баланса однородных неограниченных атмосфер. В работе исследуется полученное ранее инвариантное соотношение для энергетических характеристик излучения, распространяющегося в пространственно ограниченной дисперсной среде, которое остается постоянным при изменении поперечных оптических размеров среды (по отношению к направлению распространения излучения). Этот инвариант является обобщением фотометрического инварианта Стокса, полученного при условии неограниченности среды в поперечном направлении, и справедливый для любой оптической толщины слоя. Проведен анализ точности выполнения инварианта от величины интегральных параметров индикатрисы рассеяния для разных оптических размеров и микроструктуры дисперсной среды.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТОВ АЭРОЗОЛЬНО-ОБЛАЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ INMCM48

А.А. Полюхов¹, Н.Е. Чубарова¹, Е.М. Володин²

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

²*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука, г. Москва, Россия
aeromsu@gmail.com*

Рассматриваются эффекты аэрозольно-облачного взаимодействия на солнечную радиацию, характеристики облачности и температуру с использованием климатической модели INMCM48. Обновление полей концентрации в океане и улучшение параметризации эмиссии диметилсульфида в климатической модели позволило уменьшить ошибку в оценках аэрозольной оптической толщины сульфатного аэрозоля по сравнению с данными реанализа CAMS [1]. Продолжительность численных экспериментов составляла 10 лет для трех периодов с эмиссиями сульфатного аэрозоля, определенными для условий доиндустриального периода (1850), для периода с высокими концентрациями сульфатного аэрозоля в Европе и в США и низкими в Китае (1980) и для периода 2005 г., когда его концентрация была значительно ниже в Европе и на восточном побережье США и выше в Китае. Были проанализированы временные изменения облачного пропускания нисходящей коротковолновой радиации у поверхности земли и на внешней границе атмосферы, изменения количества облаков и приземной температуры воздуха для различных сценариев с учетом и без учета аэрозольно-облачного взаимодействия [2]. При учете сульфатного аэрозоля в параметризации аэрозольно-облачного взаимодействия в модели INMCM48 ошибка облачного пропускания уменьшилась по сравнению с реанализом ERA-Interim и модели реконструкции.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 20-17-00190).

1. Chubarova N.E., Poliukhov A.A., Volodin E.M. // *Izvestiya – Atmos. Ocean. Phys.* 2021. V. 54, N 4. P. 370–378.

2. Полюхов А.А., Чубарова Н.Е., Володин Е. // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана.* 2022. Т. 58, № 5. С. 566–575.

ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ КЛИМАТОЛОГИЙ НА ПРОГНОЗ ПОГОДЫ В МОДЕЛИ COSMO-Ru НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРАЗИИ

А.А. Полюхов^{1,2}, Н.Е. Чубарова¹, Д.В. Блинов², М.В. Шатунова², Г.С. Ривин²

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

²*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, г. Москва, Россия
aeromsu@gmail.com*

Рассматриваются аэрозольные климатологии и их влияние на точность прогноза погоды. Модельные эксперименты проводились с использованием негидростатической мезомасштабной модели COSMO-Ru с аэрозольными климатологиями Tanqe, Tegen, MACsv2 и CAMS в центральные месяцы сезонов для территории Евразии для 2017 г. При использовании климатологии аэрозолей MACsv2 среднемесячная температура воздуха в июле над территорией Южной Европы увеличивается на 0,4–0,8 °С по сравнению с расчетами с использованием аэрозольной климатологии Tanqe. Однако в то же время над морской поверхностью температура воздуха

уменьшается (до 0,2 °С), вследствие фиксированного значения температуры поверхности океана и меньшим поглощением радиации аэрозолями. Кроме этого, была оценена среднеквадратичная ошибка для температуры воздуха на расстоянии 2 м более чем на четырех тысячах станций. Использование MACsv2 и SAMS приводит к снижению среднеквадратичной ошибки в Южной Европе на 0,3–0,4 °С в апреле и на 0,2–0,3 °С в июне [1].

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант № 075-15-2021-574) и Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды тема АААА-А20-120021890120-8 (частично).

1. *Poliukhov A., Blinov D. Aerosol effects on temperature forecast in the COSMO-Ru // Russian Meteorology and Hydrology. 2021. V. 46, N 1. P. 19–27.*

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ФОРСИНГА ДЫМОВ СИБИРСКИХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ В БОЛЬШОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ КАМЕРЕ ИОА СО РАН

И.М. Насртдинов¹, Т.Б. Журавлева¹, П.Н. Зенкова¹, В.Н. Ужегов¹, И.Б. Коновалов²

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

²*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия
wizard@iao.ru*

Дымы лесных пожаров могут распространяться на тысячи километров от источника возгорания, достигая таких удаленных районов как Арктика. В процессе переноса дымов со временем их оптические и микрофизические свойства могут существенно трансформироваться, оказывая различное радиационное воздействие над территорией распространения. В данной работе приводятся результаты моделирования радиационного форсинга дымового аэрозоля в зависимости от эволюции его оптических характеристик.

Информация об оптических и микрофизических характеристиках дымового аэрозоля была получена на основе измерений коэффициентов аэрозольного ослабления, коэффициентов направленного светорассеяния и массовой концентрации поглощающего вещества в большой аэрозольной камере (БАК) ИОА СО РАН. Рассматривались данные экспериментов, соответствующих разным режимам горения: тлеющий (пиролиз) и смешанный (с добавлением дымов открытого пламени) с различными массами сжигаемого вещества (сосна) 20 и 100 гр. Получены оценки альбеда однократного рассеяния и среднего косинуса индикатрисы аэрозольного рассеяния в зависимости от условий эксперимента.

Радиационные расчеты для различных типов подстилающей поверхности выполнены с использованием кода [1] для задымленной и фоновых моделей (эмпирическая модель тропосферного аэрозоля и Западной Сибири и Арктики).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-77-20109).

1. *Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Фирсов К.М. Моделирование прямого радиационного форсинга для типичных летних условий Сибири. Часть 1: Метод расчета и выбор входных параметров // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 2. С. 163–172.*

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ СМЕСИ ЧАСТИЦ НА РАДИАЦИОННЫЙ ФОРСИНГ ДЫМОВОГО АЭРОЗОЛЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Т.Б. Журавлева¹, И.М. Насртдинов¹, И.Б. Коновалов², Н.А. Головушкин²

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

²*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия
ztb@iao.ru*

В последние десятилетия температура в Арктическом регионе растет быстрее, чем в среднем по планете. Несмотря на то, что основным фактором потепления являются парниковые газы, значимую роль могут оказывать и дымы от лесных пожаров приходящих в Арктику из Сибири.

В работе обсуждается влияние на радиационный форсинг дымового аэрозоля двух подходов к формированию его оптических характеристик: внутреннее (однородное и ядро/оболочка) и внешнее перемешивание.

Вычисление оптических характеристик в задымленной и фоновой атмосфере выполнено с использованием теории Ми данных, представленных в химико-транспортной модели CHIMERE с учетом и без учета эмиссий от сибирских пожаров (июль 2016 г.). Рассматривалось 190 пикселей в различных районах Арктики, соответствующих трем типам подстилающей поверхности: тундра, океан, лед.

Радиационные расчеты в диапазоне 0,2–5 мкм осуществлялись на базе оригинального кода ИОА СО РАН. Показано, что радиационный форсинг в основном имеет отрицательные значения, т.е. дым оказывает выхолаживающее воздействие, но над ледовой поверхностью значение форсинга может быть положительным (нагревающий эффект). Получены количественные оценки отличий в форсинге, обусловленные различным способом задания смеси частиц.

Радиационные расчеты выполнены в рамках государственного задания ИОА СО РАН; формирование оптических характеристик аэрозоля и анализ полученных результатов выполнены при поддержке РФФИ (грант № 21-55-15009 НЦНИ_а).

АНТРОПОГЕННЫЙ АЭРОЗОЛЬ

ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В УЛИЧНОЙ ПЫЛИ И ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Н.А. Осипова¹, К.Ю. Осипов², А.В. Таловская¹, Е.Г. Язиков¹, С.А. Новиков¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

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

Для оценки уровня загрязнения территорий с развитой угледобывающей и углеперерабатывающей промышленностью и риска для здоровья человека проведено исследование уличной пыли на территории г. Междуреченска, Южный Кузбасс, методика пробоотбора и аналитического определения методом ИСП МС описаны [1]. Гранулометрический состав проб определен методом лазерной дифракции. Статистическая обработка результатов и расчет рисков здоровью проведены в специально разработанном Web-приложении. Созданный программный продукт [2, 3] позволяет автоматизировать процесс расчёта необходимых значений, снабжен функцией конвертации базы данных о содержании химических элементов в компонентах природных сред в унифицированный формат для оценки рисков здоровью, содержит справочную информацию, необходимую для оценки риска (референтные концентрации, факторы канцерогенного потенциала), а также саму программу для расчета рисков. Встроенные блоки позволяют провести вероятностную оценку среднесуточной дозы, получаемой при попадании загрязнителя в организм методом имитационного моделирования, анализ чувствительности среднесуточной дозы к вариабельности входящих в его расчет компонентов.

Средний диаметр частиц в пробах с территории города варьирует от 7,3 до 21,1 мкм, при среднем значении – $15,0 \pm 0,5$ мкм. Пробы уличной пыли города содержат 10% частиц с размером 2,7 мкм, 50% частиц с размером 15 мкм, 90% частиц с размером 35,2 мкм. Гранулометрический состав частиц в городских пробах представлен преимущественно средним и крупным классами частиц: доля PM_1 составляет в среднем 6,7%, PM_{1-10} – 29,2%, PM_{10-50} – 60,7%, $PM_{>50}$ – 3,4%.

Оценены риски, согласно общепринятым методикам, при попадании в организм человека уличной пыли тремя путями: при вдыхании, при заглатывании частичек пыли, при контакте с кожей. Суммарный коэффициент опасности не превышает допустимых значений (0,29), вещества, дающие наибольший вклад в суммарный коэффициент опасности – As, Cr, Pb, Mn, Fe, Sb, Ba, V. Выявленные вещества-загрязнители отражают характер производственных процессов на изучаемой территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00675 А. Исследования выполнены в НИ ТПУ в рамках программы повышения конкурентоспособности ТПУ среди ведущих мировых исследовательских центров. Часть расчетов была выполнена К.Ю. Осиповым в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Talovskaya A.V., Osipova N.A., Yazikov E.G., Osipov K.Yu., Saprunova I.A., Churina S.S. Распределение редких и редкоземельных элементов в уличной пыли на территории города с размещением угледобывающей промышленности (на примере г. Междуреченска, Кемеровская обл.) // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 132–137.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021682060 от 28.12.2021: Вариационный анализ чувствительности параметра LADD к вариабельности входящих в его расчет компонентов; Осипов К.Ю., Осипова Н.А.
3. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021623276 от 28.12.2021: «База данных содержания химических элементов в материале уличной пыли территории города Междуреченска»; Осипова Н.А., Осипов К.Ю., Таловская А.В., Язиков Е.Г.

СОСТАВ И КОНЦЕНТРАЦИЯ БИОГЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НАД ВАСЮГАНСКИМИ БОЛОТАМИ И КАРАКАНСКИМ ЛЕСНЫМ МАССИВОМ

И.С. Андреева¹, А.С. Сафатов¹, В.В. Морозова², Е.В. Жираковская², Н.А. Соловьянова¹, Л.И. Пучкова¹,
С.Е. Олькин¹, И.К. Резникова¹, Г.А. Буряк¹, О.В. Охлопкова¹

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

²Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, г. Новосибирск, Россия
andreeva_is@vector.nsc.ru

Проведено самолетное зондирование биогенных компонент атмосферного аэрозоля в двух районах юга Западной Сибири (Васюганские болота и Караканский бор) на высотах от 500 и до 7000 м. Для определения истории движения исследуемых атмосферных аэрозолей с помощью программы HYSPLIT построены 10-дневные обратные траектории движения воздушных масс. В исследуемых пробах аэрозолей выявлены высотные зависимости концентраций суммарного белка и культивируемых микроорганизмов. Из образцов аэрозолей изолированы неспорозоносные и спорообразующие бактерии, плесневые и дрожжеподобные грибы, представленные родами *Vishniacozyma*, *Bullera*, *Meyerozuma*, *Cystofilobasidium*, *Filobasidium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Candida* и др. В аэрозолях обнаружена также высокая концентрация космополитных дрожжей рода *Aureobasidium*, способных вызвать тяжелые микозы. Обнаружено большое сходство состава и нетипично высокая численность неспорозоносных бактерий и психротолерантных дрожжеподобных грибов в образцах, взятых на высотах 1000 и 500 м в обоих исследуемых регионах, что может быть следствием масштабного горизонтального переноса слоев атмосферного воздуха, контаминированного микроорганизмами.

Работа выполнена при поддержке Госзаданий Роспотребнадзора.

СВЯЗЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ОСЛОЖНЕНИЕМ ТЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ И ГОСПИТАЛИЗАЦИЯМИ АССОЦИИРОВАННЫМИ С COVID-19 В ТОМСКЕ ВО ВРЕМЯ ЭПИДЕМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ 2022 г.

А.Н. Ишматов, А.А. Барт, Е.А. Стребкова, С.В. Яковлев

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

Представлены результаты анализа взаимосвязи краткосрочного воздействия загрязнения воздуха, а также температуры и влажности воздуха на госпитализации, связанные с COVID-19, в Томске, Россия. Предложена и опробована модель оценки воздействия факторов влияющих на респираторную систему инфицированного человека. Собраны и проанализированы статистические данные о загрязнении атмосферного воздуха, метеорологических параметров, и госпитализациях, связанных с COVID-19, за период с 1 января 2022 г. по 14 апреля 2022 г. (Этот период соответствует волне COVID-19 ассоциированной с омикрон штаммом SARS-CoV-2). Было показано, что все репрезентативные пики на графике суточных госпитализаций за выбранный период времени совпадают с повышением уровней загрязнения воздуха, а также с определенными изменениями температуры и влажности воздуха. Рост госпитализаций происходил в те же дни (или с небольшим лагом в 1–2 дня), когда повышался уровень загрязнения воздуха и/или происходило изменение в определенных пределах температуры или влажности воздуха. Это позволяет сделать предварительный вывод о том, что загрязнение воздуха и метеорологические параметры (в определенных пределах) оказывают воздействие на инфицированных лиц и могут провоцировать усиление симптомов и тяжести заболевания. Выявленные в этой работе закономерности и особенности влияния внешних факторов на тяжесть течения COVID-19 требуют дальнейшего исследования.

Работа выполнена при поддержке РФ (грант № 22-27-20111, <https://rscf.ru/project/22-27-20111/>) и финансовой поддержке Администрации Томской области.

ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ АЭРОЗОЛЯ $PM_{2,5}$ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ ЗА 2017–2021 гг.

А.А. Щелканов¹, Д.Е. Васильева^{1,2}, Ю.И. Маркелов^{1,2}, В.А. Поддубный^{1,2}, В.М. Гадельшин^{1,2}

¹Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

²Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
a.shchelkanov@ecko.uran.ru

Осуществление многолетнего мониторинга состояния атмосферного воздуха является одной из важнейших задач для определения путей загрязнения атмосферы и при исследовании различных процессов, происходящих в региональном или глобальном масштабе. В Екатеринбурге с 2016 г. организованы круглогодичные измерения содержания аэрозоля $PM_{2,5}$ в приземном слое воздуха в двух стационарных пунктах: на территориях Института промышленной экологии УрО РАН (ИПЭ) и Коуровской астрономической обсерватории УрФУ (КАО). Выбор этих мест обусловлен возможностью обеспечить измерения в разных функциональных зонах: 1) городская среда с ярко выраженным антропогенным воздействием (ИПЭ); 2) условно «фоновая» территория (КАО) на удалении в 70 км от первого пункта наблюдения.

В докладе представляются результаты циклических измерений концентрации аэрозоля $PM_{2,5}$ в приземном слое воздуха на указанных территориях с 2017 по 2021 г. Рассматривается временная изменчивость концентраций в обозначенный период, приводятся статистические показатели, как параметры характерные для территорий наблюдения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50138.

ВЛИЯНИЕ ПОВТОРЯЕМОСТИ ШТИЛЕЙ НА УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В ГОРОДАХ

А.А. Леженин, В.Ф. Рапута

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

На постах сети Росгидромета осуществляется мониторинг качества атмосферного воздуха в городах Российской Федерации. Уровень загрязнения атмосферы городов зависит от множества факторов. Из них определяющими являются объёмы эмиссии и состав примесей. Немалую роль играют метеорологические условия [1].

В докладе проводится анализ связей измеряемых на постах концентраций бенз(а)пирена (БП) и повторяемости штилевых условий в городах Сибири [2]. Особое внимание уделяется зимнему периоду времени, когда наблюдаются наиболее высокие уровни загрязнения атмосферы. Проведено исследование по оценке влияния ветрового режима на уровни содержания БП в атмосферном воздухе Новосибирска, Иркутска, Ангарска, Искитима. Используются среднемесячные измерения концентраций БП на стационарных постах Росгидромета и данные наблюдений с метеорологических станций. Выявлены устойчивые связи между атмосферными загрязнениями и повторяемостью штилей в холодный период года.

Результаты исследований показали, что наряду с получением интегральных показателей, необходимо контролировать появление дополнительных источников БП в городах. Для детализации полей атмосферного загрязнения городских территорий требуется значительное расширение сети наблюдений. Для получения дополнительной информации следует использовать данные мониторинга многокомпонентного загрязнения природных планшето.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Минобрнауки РФ.

1. Безуглая Э.Ю., Завадская Е.К., Ивлева Т.П. // Тр. ГГО. 2013. Вып. 568. С. 267–279.

2. Леженин А.А., Рапута В.Ф. // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 4. С. 109–115.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПЛАВУЧЕСТИ ДЫМОВОГО ФАКЕЛА

В.Ф. Рапута, А.А. Леженин

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

Дымовые выбросы от крупных ТЭЦ и промышленных предприятий визуализируют их распространение в атмосфере. Снимки из космоса позволяют провести детальный анализ процессов переноса примесей, включая активную стадию подъёма шлейфа [1].

В докладе обсуждаются способы оценивания характеристик подъёма дымовых смесей от высотных труб. Они основаны на решениях уравнений гидротермодинамики атмосферы, методах теории размерности и подо-

бия. При численном анализе используются данные измерений с метеостанций, спутниковые снимки. Оценка потока плавучести проводилась с использованием спутниковой информации и формул Бриггса, выведенных на основе теории размерности [2]. Представлена апробация предлагаемого подхода для крупных тепловых станций: Барнаульской ТЭЦ-3, Ново-Иркутской ТЭЦ, Гусиноозёрской ГРЭС. Выполнено сравнение полученных оценок с результатами расчетов параметров сил плавучести, вычисленных с использованием динамических и тепловых характеристик дымовых смесей. Проведенное исследование показало, что применение соотношений, выведенных на основе теории размерностей, позволяет получать стабильные оценки силы плавучести дымовых смесей при близкой к нейтральной температурной стратификации. Это объясняется наличием связи, обусловленной фундаментальным «законом 2/3», между высотами подъема дымового шлейфа и его горизонтальным переносом относительно источника примеси.

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2020-787 Минобрнауки РФ.

1. Рапута В.Ф., Леженин А.А. // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 7. С. 530–534.

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

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ И ТОКСИЧНОСТЬ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В СОСТАВЕ АЭРОЗОЛЕЙ МОСКВЫ

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

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

AVSemyonova@mail.ru

Полиароматические углеводороды (ПАУ) относятся к приоритетным загрязняющим веществам из-за негативных эффектов, оказываемых на здоровье населения. Особое значение при контроле качества воздуха приобретает анализ сезонных вариаций концентраций ПАУ и оценка вызываемых ими токсических рисков. В работе представлены результаты аналитических измерений 16 приоритетных ПАУ в составе аэрозолей, отобранных в весенний 2018 г., осенний и зимний 2019–2020 г.г. периоды на Аэрозольном Комплексе МГУ, методами газовой хроматографии-масс-спектрометрии и высокоэффективной жидкостной хроматографии. Средняя суммарная концентрация 16 ПАУ за весь период измерений составляет $2,65 \pm 2,07$ нг/м³. На основании диагностических отношений оценено влияние пирогенных и петрогенных источников в каждый из трёх периодов. Зарегистрированы эпизоды загрязнения промышленными выбросами осенью и шлейфами дымов горения региональных биомасс весной. В период новогодних праздников наблюдалось значительное снижение концентрации ПАУ, поступающих от промышленных и транспортных эмиссий. Расчет рисков возникновения токсических эффектов показал, что зимний и осенний отопительные сезоны характеризуются большими значениями канцерогенного (0,45; 0,42) и мутагенного (0,58; 0,55) эквивалентов по бенз(а)пирену в сравнении с весенним периодом (0,26 и 0,38), соответственно. Наблюдаемые концентрации ПАУ вызывают риск возникновения 32 случаев рака лёгких на каждый миллион человек.

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

СОДЕРЖАНИЕ САЖИ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ПРИБАЙКАЛЬЯ

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

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

onischuk@lin.irk.ru

Черный углерод (сажа) представляет особый интерес, поскольку он поглощает солнечный свет, нагревает воздух и вносит свой вклад в глобальное потепление климата. Нами впервые были проанализированы пробы снежного покрова на содержание сажи в промышленных городах: Ангарск, Иркутск, Шелехов и на фоновой территории. Среднее содержание сажи в снежном покрове городов незначительно различается. Наибольшее содержание выявлено в снежном покрове г. Шелехов – $10,5$ мг/дм³ среднее значение $3,1$ мг/дм³. Пространственное распределение сажи в исследуемых городах близко к распределению суммарного индекса загрязнения снежного покрова. Максимумы концентраций сажи определены в промышленных районах для гг. Ангарска и Шелехов и вблизи крупного источника ТЭЦ для г. Иркутска. На фоновой территории Байкальского государственного биосферного заповедника содержание сажи составило $0,08$ мг/дм³. Превышение концентрации сажи в снежном покрове городов в среднем в 25 раз выше, чем для фоновой территории.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 20-45-380024 p_a), 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».

АНАЛИЗ ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИЮ ГОРОДА КАРАГАНДА ПО ДАННЫМ СНЕГОВОЙ СЪЕМКИ (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

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

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

Представлены результаты распределения уровня пылевой нагрузки на территории многопрофильного промышленного города Караганда, полученные по результатам площадной снегохимической съемки.

В жилых зонах уровень пылевой нагрузки в среднем составляет 329 мг/(м²·сут), что превышает фон в 7 раз и соответствует среднему уровню загрязнения. Наиболее высокие значения пылевой нагрузки приходятся на район города (455 мг/(м²·сут)), где происходит наложение выбросов от частного сектора отапливаемого углем и дальнего переноса выбросов от ТЭЦ. Уровень пылевой нагрузки в среднем составляет 289 мг/(м²·сут) в жилых районах города, где используется централизованное теплоснабжение в зданиях, а также сосредоточены крупные автомобильные дороги.

Наиболее высокие уровни пылевой нагрузки отмечены в зоне влияния ТЭЦ, которые изменяются от 89 до 1751 мг/(м²·сут), при среднем 1089 и фоне 47 мг/(м²·сут). Повышенные значения пылевой нагрузки приходятся на расстояние 0,7 км от труб ТЭЦ, что в среднем составляет 573 мг/(м²·сут) и это значение превышает фон в 13 раз. Снижение пылевой нагрузки (от 326 до 122 мг/(м²·сут)) 9 раз происходит по мере удаления от труб ТЭЦ на расстояние 1,6–4,5 км.

По результатам изучения минерально-вещественного состава твердого осадка снегового покрова выявлено, что техногенные образования представлены преимущественно шлаком (недожог угля) (25–35%), угольной пылью (15–20%), металлическими и алюмосиликатными микросферами (10–25%), которые в сумме доминируют над природной составляющей (8–9%).

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДОВ ИСТОЧНИКОВ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ МОСКОВСКОГО МЕГАПОЛИСА

О.Б. Поповичева¹, М.А. Чичаева², Р.Г. Ковач², Н.Е. Кошелева², Д.В. Власов²,
В.Р. Битюкова², Н.С. Касимов², Е. Diapouli³, К. Eleftheriadis³

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

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

³N.C.S.R. "Demokritos", Athens, Greece

olga.popovicheva@gmail.com

Определение основных источников аэрозольного загрязнения имеет особое значение для разработки эффективных мер по смягчению их последствий и защиты здоровья населения, особенно в крупных городах и мегаполисах, где интенсивная транспортная и промышленная деятельность населения сопровождается многочисленными выбросами в атмосферу. Целью настоящего исследования является определение основных источников загрязнения и количественная оценка их вклада в концентрации аэрозольных компонентов в Московском мегаполисе. Это первое исследование, проведенное на основе длительных комплексных измерений аэрозольного состава атмосферы Москвы и современной модели «source apportionment», апробированной в крупнейших мегаполисах Европы [1].

Суточные пробы частиц размером менее 10 мкм (PM₁₀) отобраны в весенний, осенний и зимний сезоны на Аэрозольном Комплексе МГУ (юго-запад Москвы). Проведены анализы 28 компонентов, включая органический (ОС) и элементный углерод (ЕС) термооптическим методом, химические элементы и ионы методами ICP-MS, ICP-AES, XRF и IC. База данных полученных концентраций использована для оценки источников с помощью модели положительной матричной факторизации (PMF). На основе решения методом PMF получены факторы шести источников с соответствующими вкладами: транспорт (23%), засоление дорог (8%), городская пыль (26%), промышленные выбросы (18%), сжигание биомассы (12%) и образование вторичного аэрозоля (13%). Транспорт идентифицирован по низкому соотношению ОС/ЕС и маркерам эмиссий Zn, Ba и Sb, засоление противогололедными реагентами – по высоким концентрациям Na⁺ и Cl⁻. Городская пыль содержит элементы Al, Ca, Ti, Fe терригенного и Cu, Zn и Pb антропогенного происхождения элементы, профиль которой хорошо согласуется с дорожной пылью Москвы [2]. Промышленные выбросы содержат ЕС, ОС и тяжелые металлы Ni, Cu и Cr. Сжигание биомассы определено по наличию K⁺, а также по высокому соотношению ОС/ЕС. Вторичный источник аэрозолеобразования содержит в основном SO₄²⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ и ОС.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ (№ 075-15-2021-938).

1. Diapouli E., Manousakas M., Vratolis S., Vasilatou et al. // Atmos. Environ. 2017. V. 164. P. 416.

2. Vlasov D.J., Kosheleva N., Kasimov N. // Sci. Total Environ. 2021. V. 761. P. 143267.

МНОГОЛЕТНИЕ ТРЕНДЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ ОСНОВНЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В МОСКВЕ ПО ДАННЫМ НЕПРЕРЫВНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

И.Ю. Шалыгина, Е.А. Лезина, К.В. Родина

ГПБУ «Мосэкомониторинг», г. Москва, Россия
ShalyginaIY@eco.mos.ru

Многолетние (2004–2021 гг.) тренды средних суточных концентраций по данным непрерывных наблюдений оксида углерода, оксида и диоксида азота, взвешенных частиц, диоксида серы и озона в целом по городу и по территориям различного типа (примагистральные, смешанные, жилые), всего к оценке привлечено 16 станций. За 18-летний период отмечается динамика снижения концентраций CO, NO в целом по городу порядка 4% в год, на территориях жилого типа в процентном соотношении снижение максимально. В абсолютных величинах на примагистральных территориях снижение больше, чем на остальных территориях. В многолетней динамике концентраций NO₂ также отмечено снижение, но менее заметное, чем в динамике оксида углерода и азота. Значимого тренда концентрации озона не выявлено. Тренды для всех территорий статистически значимы с уровнем значимости $p < 0,001$.

Отдельно проанализированы тренды по сезонам, месяцам и дням недели. Отмечена сезонная вариация величины тренда, меняющаяся в зависимости от типа территории. В недельном разрешении значимых трендов не установлено.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТОВ ГОРОДСКОГО ЗАГРЯЗЕНИЯ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ В МОДЕЛИ COSMO-Ru

А.А. Полюхов^{1,2}, Е.Ю. Жданова¹, Н.Е. Чубарова¹

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

²Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, г. Москва, Россия
aeromsu@gmail.com

Оцениваются эффекты аэрозольного загрязнения Москвы и прилегающих территорий с использованием данных МАІАС, полученных по спутниковым данным MODIS с 2001 по 2017 г. [1]. Для этого полученные данные были адаптированы для расчетов в негидростатической модели прогноза погоды COSMO-Ru. Было проведено пять серий экспериментов в безоблачных условиях: с использованием аэрозольных климатологий Tegen и MACsv2; с содержанием аэрозолей по спутниковым данным в среднем за 2002–2009 и 2010–2017 гг.; а также с полным отсутствием аэрозолей. Представлены оценки радиационного баланса, суммарной радиации с учетом применения разных аэрозольных климатологий. Для оценки точности восстановления суммарной радиации у поверхности Земли для ясных дней проведено сравнение с данными измерений в Метеорологической обсерватории МГУ.

Измерения радиации были выполнены при поддержке госбюджетной темы номер в ЦИТИС 121051400081-7 в рамках работы Центра коллективного пользования МГУ «мониторинг атмосферной радиации» (№ 460191494). Анализ результатов выполнен при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант № 075-15-2021-574) и Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды тема АААА-А20-120021890120-8.

1. Zhdanova E.Y., Chubarova N.Y., Lyapustin A.I. Assessment of urban aerosol pollution over the Moscow Megacity by the Maiaс aerosol product // Atmos. Meas. Tech. 2020. V. 13. P. 877–891.

АТМОСФЕРНОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В БАССЕЙНЕ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

Н.С. Малыгина, Р.Ю. Бирюков, Д.В. Золотов, Н.А. Курятникова, Е.Ю. Митрофанова,
Д.К. Першин, Д.В. Черных

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

Для оценки атмосферного поступления микропластика в бассейне Телецкого озера в марте 2022 г. был проведен отбор интегральных проб снежного покрова – аккумулятора атмосферных выпадений за холодный период. Пробы в замороженном виде были доставлены в лаборатории ИВЭП СО РАН, расплавлены в закрытых

стеклянных контейнерах и отфильтрованы через стекловолоконные фильтры. Полученные образцы были инсталлированы на алюминиевые держатели и напылены для последующего электронного микрокопирования (SEM S-3400N Hitachi Science Systems Ltd). Результаты микроскопических исследований позволили выделить микрочастицы, которые предварительно были отнесены к микропластику. В целях подтверждения того, что идентифицированные частицы являются микропластиком был проведен рентгеновский энергодисперсионный микроанализ (детектор XFlash 4010, Bruker AXS Microanalysis GmbH) этих же образцов, который позволил подтвердить, что обнаруженные частицы являются микропластиком. Потенциальные пути атмосферного поступления идентифицированных частиц были определены с использованием обратных траекторий движения воздушных масс (модель HYSPLIT).

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 21-17-00135).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ПЫЛЕВОЙ НАГРУЗКИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНАХ г. КЕМЕРОВО

В.Д. Кирина, А.В. Таловская

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

Представлены результаты изучения проб твердого осадка снега и пылевой нагрузки в промышленно-урбанизированных районах г. Кемерово. Отбор и подготовка проб проведены согласно нормативной методике в феврале 2016, 2020, 2022 гг., методом площадной съемки масштабом 1:50000. Рассчитана пылевая нагрузка и суммарный показатель загрязнения, определен элементный состав проб твердой фазы снега с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в аттестованной лаборатории ООО «ХАЦ Плазма» в г. Томск.

Уровень пылевой нагрузки на территорию г. Кемерово изменяется от 13,5 до 809, при среднем значении 155 и фоне (по данным А.Ю. Шатилова) 7 мг/(м²·сут). Уровень пылевой нагрузки в северо-восточном (наветренном) направлении от предприятий коксохимической и теплоэнергетической промышленности в г. Кемерово преимущественно отмечается средний относительно фона, также наблюдается незначительное увеличение пылевой нагрузки с расстоянием (0,6–4 км), низкий уровень пылевой нагрузки – в южном (подветренном) направлении. С помощью расчета коэффициента концентрации и суммарного показателя загрязнения были выявлены элементы, преобладающие по значимости в изученных пробах: Sr, Ni, Cd, Ba, Li, Cs, Rb, Al, Zr, U, Th, которые говорят о характерных источниках загрязнения коксохимии и угольной энергетики и характеризует общий геохимический фон города. Тренд значений суммарного показателя загрязнения подтверждается, практически во всех пробах с наветренной стороны зафиксирован высокий уровень загрязнения, а с подветренной – средний уровень.

ГОРОД – ПРИГОРОД: ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ АЭРОЗОЛЬНОЙ НАГРУЗКИ И СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

Р.Г. Ковач¹, О.Б. Поповичева², М.А. Чичаева¹, Д.А. Хозяинова¹,
А.В. Семенова¹, Н.Е. Кошелева¹, Н.С. Касимов¹

¹*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Россия*

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

rkovach@yandex.ru

Для крупных городских агломераций, определяющих структуру мегаполисов, становится значительной проблемой оценка уровня и неоднородности аэрозольной нагрузки атмосферы вследствие особенностей транспорта, отопительной системы жилого сектора и промышленной деятельности населения в центральных частях (город) и на прилегающих территориях (пригород). С целью оценить характеристики аэрозольного состава атмосферы Московского региона проведены исследования на аэрозольных комплексах МГУ: стационарном на территории Метеорологической Обсерватории МГУ и мобильном в Калужской области на учебно-научной станции географического факультета МГУ «Сатино», в период июнь–июль в 2021 и в 2022 гг. Представлены данные о числе частиц, распределении их по размерам, поверхностной и массовой концентрации частиц, концентрации черного углерода в компонентах сжигания природного топлива и биомасс, тяжелых металлов и полиароматических углеводородов в составе микрочастиц размером менее 10 мкм (PM₁₀). Проведенный сравнительный анализ временной варьированности физико-химических свойств микрочастиц, их суточного и недельного хода указал на разницу вкладов источников и потребляемого топлива в городской среде и в пригороде.

Работа выполнена при поддержке Министерства высшего образования и науки РФ (проект № 075-15-2021-938).

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ОЗОНА ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

С.А. Шишигин

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

Анализ спектров ослабления излучения CO_2 , CO , CH_4 , H_2O , O_3 в инфракрасной области теплового излучения Земли $800\div 10000\text{ см}^{-1}$ показал, что в участке спектра $990\text{--}1025\text{ см}^{-1}$ полосы поглощения O_3 наблюдается минимальное присутствие линий поглощения других атмосферных газов. Выбраны два спектральных участка ($1002\text{--}1003$ и $1020\text{--}1021\text{ см}^{-1}$) полосы поглощения озона с противоположной зависимостью коэффициента поглощения излучения озона от изменения температуры газа. Уходящее излучение Земли в данных спектральных участках используется для определения содержания озона в атмосфере.

МОДЕЛЬНЫЕ РАСЧЁТЫ СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ

С.А. Шишигин

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

Используется модель атмосферы, представленной в виде однородных слоёв 100 м до высоты 40 км. Параметры слоёв определены для стандартной атмосферы и вклад в уходящее излучение атмосферы в исследуемых спектральных участках линии поглощения озона $1002\text{--}1003$, $1020\text{--}1021\text{ см}^{-1}$ равен вкладам в уходящее излучение поверхности Земли и всеми неоднородными слоями, их составляющими. Мощность излучения поверхности Земли в уходящее излучение атмосферы составляет не менее 75%. Минимум разности содержания озона в воздухе в зависимости от температуры поверхности Земли, рассчитанной по уходящему излучению в каждом участке спектра, происходит при совпадении температур подстилающей поверхности модели и истинной.

Показано, что мощности уходящего излучения в двух участках спектра с противоположной зависимостью коэффициента поглощения озона от температуры однозначно характеризуют как температуру поверхности Земли, так и содержание озона в атмосфере.

РАЗВЁРТЫВАНИЕ СЕТИ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Д.Е. Васильева^{1,2}, Е.А. Гуляев^{1,2}, Ю.И. Маркелов², В.А. Поддубный²,
А.А. Щелканов^{1,2}, В.М. Гадельшин^{1,2}

¹*Физико-технологический институт УрФУ, Кафедра технической физики, г. Екатеринбург, Россия*

²*Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
daria_v00@mail.ru*

В Институте промышленной экологии УрО РАН ведутся круглогодичные измерения концентрации атмосферного аэрозоля в приземном слое воздуха по принципу «город–фон»: на территории института в Екатеринбурге («город») и на площадке Коуровской астрономической обсерватории УрФУ («фон»). Измерения проводятся с использованием аэрозольных сенсоров Panasonic PM2.5 [1]. Проводимые измерения позволяют наблюдать влияние антропогенной деятельности на содержание аэрозольных примесей, а также циклические изменения концентрации аэрозолей в этих точках.

Для расширения области исследования решено создать собственную сеть наблюдения за содержанием атмосферного аэрозоля в разных районах города. В ее основе лежит концепция низкобюджетного и компактного измерительного комплекса на базе микрокомпьютеров Raspberry Pi и сенсоров Panasonic PM2.5. Благодаря

своей многофункциональности комплекс может быть дополнен иными средствами наблюдения, например, датчиком метеопараметров SHТ31. Собственное программное обеспечение позволяет организовать централизованный сбор данных и их представление в режиме реального времени.

В докладе рассматриваются итоги разработки измерительного комплекса – основного узла будущей сети аэрозольных наблюдений, а также результаты интеркалибровки сенсоров между собой. Представляются первые результаты измерений в различных районах Екатеринбурга. Анализируются критерии выбора местоположения комплекса в городском пространстве.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-50138).

1. *Nakayama T. et al.* Development and evaluation of a palm-sized optical PM_{2.5} sensor // *Aerosol science and technology*. 2018. V. 52.

СИСТЕМА ДЕТЕКЦИИ ВИРУСНЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ БИОСЕНСОРА

А.А. Черемискина¹, В.М. Генералов¹, А.В. Глухов², А.С. Стюф³, В.К. Грабежова²,
А.С. Сафатов¹, Г.А. Буряк¹

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

²АО «Новосибирский завод полупроводниковых приборов Восток», Россия

³Новосибирский государственный университет, Россия

cheremiskina_aa@vector.nsc.ru

Исследование аэрозолей на наличие вирусных частиц позволяет своевременно предпринять санитарно-эпидемиологические мероприятия. Одним из средств детекции патогенов является биосенсор на основе полевого транзистора. Он обладает рядом преимуществ: высокой чувствительностью к определяемому патогену, временем проведения анализа, компактными размерами [1, 2].

В работе представлены результаты создания регистрирующего прибора детекции вирусных частиц и оптимизации конструкции биосенсора. Приведены примеры использования разработанных устройств.

Работа выполнена в рамках Государственного задания отраслевой научно-исследовательской программы Роспотребнадзора.

1. *Malsagova K.A. et al.* Nanowire Aptamer-Sensitized Biosensor Chips with Gas Plasma-Treated Surface for the Detection of Hepatitis C Virus Core Antigen // *Coatings*. 2020. V. 10. P. 10.
2. *Генералов В.М. и др.* Индикация белка VP40 вируса Эбола с помощью нанопроволочного КНИ-биосенсора // *Автоматрия*. 2019. Т. 55, № 6. С. 102–107.

ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС SLIDARS ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ НАЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ ЛИДАРОВ В ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЕ

Т.В. Русскова

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

btv@iao.ru

При решении многообразных задач лазерного зондирования облачной атмосферы широко используется метод Монте-Карло [1]. Медленная сходимость метода при некоторых соотношениях входных параметров и большой объём численных экспериментов, необходимых для выявления тех или иных факторов влияния, обуславливают значительную потерю временных ресурсов.

Современные компьютерные технологии позволяют автоматизировать и упростить вычислительный процесс, и, тем самым, снизить вероятность появления ошибок по причине человеческого фактора. В ИОА СО РАН разработан программно-вычислительный комплекс SLIDARS (Simulator of LIDAR Return Signal), позволяющий проводить массовые расчеты эхо-сигналов для лидаров наземного и космического базирования в облачной атмосфере с учётом многократного рассеяния. Заложенный при проектировании комплекса диапазон изменения входных параметров позволяет охватить большое многообразие ситуаций и существенно ускорить получение новых результатов. Благодаря дружественному интерфейсу пользователя и графической визуализации результатов расчётов, процесс вычислений имеет контролируемый характер.

Для моделирования распространения лидарного импульса в атмосфере со сплошной облачностью реализованы методы простой и двойной локальной оценки с конечной дисперсией. Помимо основного эхо-сигнала вы-

числяются его компоненты, соответствующие разным кратностям рассеяния излучения. Накапливаемая в процессе вычислений база данных позволяет сопоставлять получаемые результаты между собой и проводить комплексный анализ.

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

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

ОЦЕНКА ПОЛОС ВОДЯНОГО ПАРА В СПЕКТРАХ ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ЗОНЫ ФИЛАМЕНТАЦИИ В АТМОСФЕРЕ

Б.А. Воронин, П.А. Бабушкин, Г.Г. Матвиенко, В.К. Ошлаков

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
vba@iao.ru, bpa@iao.ru, mgg@iao.ru, ovk@iao.ru

В ИОА СО РАН с использованием фемтосекундной лазерной системы [1] проведены измерения спектра свечения плазмы области филаментации в воздухе, содержащем водный аэрозоль [2], с разрешением 1 нм по полувысоте в диапазоне от 9000 до 50000 см⁻¹ (200–1100 нм). В настоящий момент имеются оценки, что локальная температура плазмы в области филаментации фемтосекундного лазерного излучения, может достигать 7000 К [3].

Для понимания, какие из полос могут принадлежать водяному пару в атмосфере при стандартных условиях, проведены теоретические оценки.

В настоящий момент самый полный теоретический расчет для водяного пара приведён в [4, 5] (POKAZATEL). В отличие от других теоретических расчетов, в [5] нет отсечки по интенсивности, по J -угловому моменту, и по энергии уровней и рассмотрены уровни энергии вплоть до диссоциации (~40000 см⁻¹). При этом максимальное вращательное угловое число J принимает значение равное 69, $J = 70$ уже выше уровня диссоциации. Самые слабые переходы могут иметь интенсивность ~1e-100 см/молек. В то время самые сильные переходы имеют интенсивность ~1e-17 см/молек. Всего в расчете [5] более 800.000 уровней и 5.000.000.000 переходов, поэтому логично использовать подобный [5] расчет для моделирования в условиях высоких температур.

Сравнение теоретических и экспериментальных спектров сечения поглощения с низким разрешением (1 нм), показали, что в спектре имеются полосы, которые можно отнести к водяному пару при температуре превышающей 5000 К.

Авторы выражают благодарность С. Юрченко, за полезные консультации. Работа выполнена по программе государственного задания ИОА СО РАН.

1. *Авеста-Проект* [Electronic resource]. URL: <http://avesta.ru/> (last access: 7.08.2022).
2. Бабушкин П.А., Матвиенко Г.Г., Ошлаков В.К. Определение элементного состава аэрозоля методом спектроскопии лазерно-индуцированного пробоя фемтосекундными импульсами // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 10. С. 759–764. DOI: 10.15372/AOO20211002.
3. Martin F., Mawassi R., Vidal F., Gallimberti I., Comtois D., Pepin H., Mercure H.P. Spectroscopic study of ultrashort pulse laser-breakdown plasmas in air // Appl. Spectrosc. 2002. V. 56, N 11. P. 1444–1452.
4. *ExoMol* [Electronic resource]. URL: <http://exomol.com> (last access: 7.08.2022).
5. Polyansky O.L., Kyuberis A.A., Zobov N.F., Tennyson J., Yurchenko S.N. Lody ExoMol molecular line lists XXX: A complete high-accuracy line list for water // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2018. V. 480, iss. 2. P. 2597–2608.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДЕ

А.В. Клишкин, А.Н. Куряк, Ю.Н. Пономарев

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

Микропластик существует в окружающей среде в виде гранул и волокон размером от 0,1 до 5 мкм [1] при концентрациях в водоёмах свыше 10 000 л⁻¹ [2]. Спектры флуоресценции большинства коммерчески используемых пластиков лежат в ультрафиолетовом диапазоне [3]. Это может служить основой для разработки лазерных флуоресцентных приборов дистанционной диагностики наличия микропластика в водоёмах и на суше.

В докладе представлены результаты разработки и испытаний экспериментального стенда для дистанционной оптической диагностики примесей микропластика в воде по спектрам флуоресценции возбуждаемых излучением 3-й и 4-й гармоник лазера на неодиме. В состав стенда входят:

- Nd:YAG-лазер (энергия в импульсе: 355 нм – 60 мДж, 266 нм – 40 мДж),
- жидкостная кварцевая оптическая кювета объемом 3^{-6} м^3 , расположенная на расстоянии 1 м от выходной апертуры лазера,
- спектрометр с CCD-камерой.

На разработанном стенде проведены измерения спектров флуоресценции нескольких образцов микропластика, сделаны оценки чувствительности для исследованных образцов.

Работы выполнены в рамках государственного задания ИОА СО РАН (проект 121031500340-6).

1. Ivleva N.P., Wieshen A.C., Niesner R. // *Angew. Chem.* 2017. V. 56. P. 1720–1739.
2. Panno S.V., Kelly W.R., Scott J., Zheng W., McNeish R.E., Holm N., Hoellein T.J., Baranski E.L. // *Ground Water.* 2019. V. 57. P. 189–196.
3. Spizzichino V., Caneve L., Colao, Ruggiero L. // *Appl. Spectrosc.* 2016. V. 70(6).

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ: СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Е.А. Гуляев^{1,2}, А.О. Гусев^{2,3}, В.М. Гадельшин^{1,2}

¹*Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

²*Физико-технологический институт УрФУ, г. Екатеринбург, Россия*

³*ООО «СИАМС», г. Екатеринбург, Россия*

kapterka111@gmail.com

Атмосферный аэрозоль является важной частью глобальных климатических процессов, но степень его влияния остаётся дискуссионной. Зачастую воздействие аэрозолей на окружающую среду носит региональный, а не глобальный характер и, в зависимости от территории, может существенно различаться. Пространственная неоднородность распределения аэрозолей наиболее заметна в урбанизированных и промышленно развитых районах из-за большого числа антропогенных источников. Вследствие этого повышенное внимание уделяется изучению аэрозольного состава атмосферы крупных городских агломераций и рассмотрению городов как источников существенного вклада в формирование регионального и глобального климата. Однако для формирования целостной картины аэрозольного загрязнения городской территории необходима развитая сеть мониторинга, создание которой подразумевает наличие соответствующей приборной базы.

В докладе представлен анализ содержания атмосферного аэрозоля с использованием средств измерений, относящихся к экономичному ценовому сегменту. Исследование фракционного состава аэрозольных примесей, отобранных на фильтры, проводилось с применением «Анализатора микроструктуры SIAMS» на базе микроскопа Olympus VX-53. Благодаря полученным изображениям, опробован метод программного анализа распределения аэрозоля по размерам. В рамках доклада рассмотрены результаты анализа и их сравнение с измерениями аэрозольного спектрометра ДАС 2702-М. Представлены итоги параллельных измерений массового содержания аэрозольных примесей оптическими сенсорами Panasonic PM_{2,5} и их сравнения с ДАС. Дается оценка адекватности использованных методов, а также перспективы их дальнейшего применения на регулярной основе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-50138).

ПРОВЕРКА ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ ЗЕРКАЛ В МНОГОХОДОВЫХ КЮВЕТАХ С БЫСТРЫМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ЧИСЛА ХОДОВ

Ю.Н. Пономарев, О.Ю. Никифорова

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

yuron@iao.re, nik@iao.ru

При измерениях газово-аэрозольного поглощения атмосферы с использованием многоходовых кювет одним из источников погрешности может оказаться изменение коэффициента отражения зеркал при изменении влажности. Так, наличие водяного пара влияет на коэффициент отражения многослойных диэлектрических зеркал [1].

Для проверки влияния влажности на коэффициент отражения зеркал в кювете с быстрым изменением длины оптического хода [2] можно провести измерения оптической толщи образца τ для двух значений числа ходов луча в кювете N и $2N$. Если коэффициент отражения зеркал не меняется при изменении влажности, изме-

ренное значение оптической толщи во втором случае будет вдвое больше, чем в первом, если же зависимость от влажности есть, то разница $\tau(2N) - 2 \cdot \tau(N)$ будет соответствовать значению $-\ln(1 - \Delta R(n_{H_2O})/R)$, где n_{H_2O} – концентрация водяного пара в исследуемом образце; R – коэффициент отражения зеркала в сухой среде; ΔR – его изменение, обусловленное присутствием водяного пара, а оптическая толщина определена из отношения сигналов для пустой и заполненной кюветы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

1. Serdukov V.I., Sinitza L.N., Lugovskoi A.A. // Appl. Opt. 2016. V. 55, N 17. P. 4763–4768.
2. Солодов А.М., Солодов А.А., Дейчули В.М., Куряк А.Н., Осипов К.Ю., Петрова Т.М., Пономарев Ю.Н., Пташник И.В. Модернизация комплекса на основе Фурье-спектрометра и 30-метровой оптической кюветы для измерения слабого селективного и неселективного поглощений // Оптика атмосф. и океана. 2017. Т. 30, № 5. С. 431–434.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВЕДЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ НЕУСТОЙЧИВОЙ ВНЕШНЕПОЛИТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА УРАЛЕ

В.М. Гадельшин^{1,2}

¹Физико-технологический институт УрФУ, г. Екатеринбург, Россия
²Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
gadelshinvm@mail.ru

Осенью 2019 г. научный проект «Комплексное исследование аэрозольных примесей в атмосфере крупных городов Уральского региона с использованием метода лазерной резонансно-ионизационной масс-спектрометрии вторичных нейтральных частиц» был поддержан грантом в рамках конкурса РФФИ «Микромир» (до конца 2022 г.). Одной из основных целей проекта было заявлено привлечение в Уральский федеральный округ новых знаний, навыков и технологий мирового уровня для исследования окружающей среды. Предполагалось осуществить двухсторонние командировки коллектива проекта в Германию и немецких партнёров в Екатеринбург для установления долгосрочного сотрудничества по завершению проекта.

Однако «человек предполагает, а Бог располагает». Наступившая в 2020 г. пандемия коронавируса COVID-19, а также вызванные ею экономические эффекты на валютном рынке и в промышленности, внесли серьёзные коррективы в ход выполнения проекта. Уже на первом этапе часть запланированных работ пришлось перенести на более поздние сроки, чтобы достичь поставленных целей. Международные командировки отменены, поставки оборудования происходят с большой задержкой. Венцом всей этой «неустойчивости» становятся известные события февраля 2022 г., существенно повлиявшие на саму возможность вести совместные исследования с европейскими организациями.

Представляется целесообразным проанализировать события последних лет с точки зрения хода выполнения научного проекта. Достигнутые результаты будут показаны через призму трудностей, с которыми может столкнуться отечественный исследователь. В докладе будут рассмотрены примеры научной дипломатии в действии, открывающие перспективы для международного сотрудничества.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-50138).

ЛИДАР ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ОЗОНА В ВЕРХНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ – НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЕ СИБИРСКОЙ ЛИДАРНОЙ СТАНЦИИ

А.В. Невзоров, А.П. Макеев, А.А. Невзоров, А.И. Надеев, Н.Г. Зайцев

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

На Сибирской лидарной станции Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в Томске (56,5° с.ш., 85,0° в.д.) для исследования динамики озона в районе тропопаузы и изучения стратосферно-тропосферного обмена работает лидар для измерения вертикального распределения озона в верхней тропосфере – нижней стратосфере. В работе приводятся результаты сравнения применяемых на данном лидаре для регистрации сигналов ФЭУ R7207-01 совместно с усилителями-дискриминаторами С3866 фирмы НАМАМАТСУ и модулями ФЭУ Н12386-210 на парах длин волн 299/341 нм. Показана перспективность использования новых фотоприёмных модулей ФЭУ Н12386-210 для лазерного зондирования озона на паре длин волн 299/341 нм. Применение новых

фотоприёмников позволило расширить высотный диапазон восстановления вертикального распределения озона на 4 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания ИОА СО РАН с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Атмосфера» при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки России (Соглашение № 075-15-2021-661).

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОСТОЯНИЕМ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО СЛОЯ НАД ТОМСКОМ В 2021 г.

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

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

Приводятся и обобщаются результаты лидарных измерений на Сибирской лидарной станции вертикального распределения стратосферного аэрозольного слоя в 2021 г. Приводится описание и техника измерений многоканального стационарного лидарного комплекса Института оптики атмосферы СО РАН в Томске.

Исходя из результатов измерений и анализа полученных данных подтверждается закономерность в увеличении накопления фонового аэрозоля в период осень – зима с его последующим активным его истощением в летний период.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО МЕТОДЫ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ

И.Е. Конохов, А.А. Павленко, С.С. Титов

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск, Россия
ilyakon008@gmail.com*

Создание бесконтактных методов определения дисперсности аэрозолей является актуальной задачей, так как они определяют концентрацию и функцию распределения частиц по размерам, не внося искажений в исследуемую среду.

Большинство дисперсных сред содержат в себе частицы, размеры которых варьируются в широком диапазоне. При этом определение дисперсных параметров таких сред лучше производить при единичном измерении с использованием одного приборного комплекса. Для достижения этого решено объединить метод малоуглового рассеяния и метод спектральной прозрачности в единую измерительную систему. Такой подход позволит повысить точность и информативность определения дисперсных параметров благодаря одновременному учёту вклада в рассеяние и ослабление зондирующего излучения на различных длинах волн в реальном режиме времени.

На основе модифицированного метода малоуглового рассеяния существует измерительная установка ЛИД-2М, способная определять дисперсность в диапазоне 1–100 мкм. Установка ТИПАС-1, на основе модифицированного метода спектральной прозрачности, позволяет определять дисперсность в диапазоне 30–6000 нм. Аппаратное и математическое совмещение этих методов и установок позволит в каждом единичном измерении определять параметры аэрозольной среды с широким распределением размеров частиц (от 30 нм до 100 мкм) с требуемой и контролируемой точностью на всех участках размерного диапазона.

Работа выполнена в рамках базового бюджетного проекта «Энергонасыщенные материалы: разработка, создание и применение», при использовании приборной базы Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРА АСИММЕТРИИ ОДНОКРАТНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО РАССЕЯНИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.В. Пашнев, Ю.Я. Матющенко

*Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия
pashnev@phys.asu.ru*

Климатические изменения, имеющие место на Земле в последние десятилетия, диктуют необходимость непрерывного контроля и проведения тщательных исследований состояния атмосферы. Одной из характеристик, в значительной степени определяющей поступление солнечной радиации на поверхность Земли, является фактор асимметрии рассеянных световых потоков. В данной работе представлено программное обеспечение,

реализующее метод определения коэффициентов асимметрии однократного аэрозольного рассеяния [1] путем аналитической аппроксимации нейронной сетью прямого распространения.

В качестве исходных используются данные результатов наблюдений интегрального коэффициента рассеянных световых потоков, оптической толщи и альbedo местности, при этом яркость может измеряться в любых единицах, включая непосредственно отсчеты фотометра. Разработаны программы расчета фактора асимметрии для работы с файлами табличного формата в виде скрипта и для обучения нейронной сети в формате приложения для ОС Windows. Изложены требования к входным данным, представлены блок-схемы алгоритмов программ и интерфейс приложения для обучения нейронной сети. Приведены результаты тестирования нейронной сети, выполнен анализ погрешностей вычисления коэффициентов асимметрии. Данная методика может использоваться для оперативного определения коэффициентов асимметрии при обработке значительных объемов данных, в первую очередь, результатов мониторинговых наблюдений.

1. Пашинев В.В., Павлов В.Е., Матющенко Ю.Я., Белозерских В.В. Таблицы для разработки методик определения коэффициентов асимметрии световых потоков, рассеянных на аэрозолях в красной и ближней ИК-областях спектра // Южно-Сибирский науч. вестн. 2019. № 2 (26). С. 204–212.

КВАЗИСИНХРОННЫЕ САМОЛЕТНЫЕ И СТАЦИОНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ КОНТАКТНЫМИ И ЛИДАРНЫМИ МЕТОДАМИ В 2021–2022 гг.

К.А. Шукуров¹, А.В. Невзоров², С.Б. Белан², А.П. Макеев², Д.В. Симоненков²

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

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

Предварительный траекторный анализ дальнего переноса аэрозоля по данным лидарного зондирования и самолётных измерений аэрозоля за 2015–2016 гг. выявил в целом согласующиеся распределения потенциальных источников аэрозоля для тропосферы региона юга Западной Сибири.

В 2021–2022 гг. продолжилось выполнение лётных экспериментов над районом Караканского бора на юге Новосибирской обл. Самолетное зондирование, включающее фильтроотбор проб атмосферного аэрозоля с последующим лабораторным определением его ионно-элементного состава, и измерение непосредственно в полете счётной концентрации субмикронного и грубодисперсного аэрозоля в слое 0,5–7 км, проведено 11 марта, 13 апреля, 13 мая, 28 сентября, 19–21 октября и 2 декабря 2021 г., 28 января, 31 марта, 27 апреля, 26 мая и 7 сентября 2022 г. Почти во все эти дни, с максимальным временным отклонением по метеоусловиям ± 1 сут, согласовывалось проведение лидарного зондирования на длине волны 532 нм на Сибирской лидарной станции (СЛС) ИОА СО РАН.

Несмотря на существенную географическую удалённость районов самолётного и лидарного зондирования между собой (300–400 км), их последовательное расположение на линии преобладающего переноса воздушных масс в регионе ЮЗ–СВ дает поля вероятности переноса воздушных частиц и пространственные распределения потенциальных источников аэрозоля для них вполне сопоставимыми, что косвенно подтвердилось результатами траекторного анализа, сопряжённого с лидарными и самолётными аэрозольными данными за 2015–2016 гг.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ННФИ (проект № 20-55-56028). Использовались данные измерений, полученные с помощью оборудования в рамках госзаданий ИОА СО РАН и ИФА РАН.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОСЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПРИЁМНЫЙ КАНАЛ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ЛИДАРА В ПЛОСКОСТИ РЕГИСТРАЦИИ

А.А. Андрикович, А.А. Дорошкевич

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

Одним из методов исследования оптических свойств и микрофизических характеристик аэрозоля является метод поляризационного лазерного зондирования. Суть метода заключается в послылке в исследуемое аэрозольное образование поляризованного лазерного импульса с последующей регистрацией рассеянного в среде излучения и анализе трансформации поляризационных и энергетических характеристик, произошедшей в среде. [1].

В ходе анализа результатов поляризационного лазерного зондирования необходимо учитывать влияние элементов оптической системы приемного канала поляризационного лидара на энергетические и поляризационные характеристики поступающего в приемную систему излучения.

Регистрируемое лидаром излучение при зондировании аэрозольных образований в условиях многократного рассеяния имеет неравномерное распределение интенсивности и поляризационных характеристик по сечению пучка [2].

В докладе обсуждается влияние оптической системы приемного канала поляризационного лидара на распределение интенсивности излучения по сечению пучка после его распространения в приемной системе лидара. Моделирование осуществлялось по алгоритму, основанному на методе матриц Мюллера [4] и трассировке излучения по алгоритму Федера [5].

1. Зуев В.Е. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. Новосибирск: Наука, 1986. 188 с.
2. Самохвалов И.В. и др. Коаксиальный лидар многократного рассеяния: распределение степени поляризации излучения в плоскости регистрации // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 9/2. С. 141–142.
3. Шерклифф У. Поляризованный свет. М.: Мир, 1965. 264 с.
4. Михельсон Н.Н. Оптика астрономических телескопов и методы ее расчета. М.: Физ.-мат. лит.-ра, 1995. 383 с.

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННАЯ ИЗОТОПНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СНЕГА И УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ГОРОДСКОЙ И ФОНОВОЙ ТЕРРИТОРИИ

В.С. Бучельников¹, М.П. Тентюков^{1,2}, Б.Д. Белан¹, И.В. Смолева³, В.П. Лютоев³, К.А. Шукуров⁴, Г.А. Ивлев¹, Д.В. Симоненков¹, М.Ю. Аршинов¹, А.В. Фофонов¹, В.И. Михайлов⁵

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

²Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Россия

³Институт геологии им. Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

⁴Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия

⁵Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

victor.buchelnikov@yandex.ru

Сегодня к постседиментационным изменениям изотопного состава выпавших твердых осадков проявляется значительный интерес, поскольку осаждение аэрозольного вещества усиливает поглощение солнечного излучения в видимом диапазоне и способствует росту температуры поверхности загрязненного снега, тем самым ускоряя его таяние.

Цель работы – охарактеризовать особенности послышной динамики постседиментационных изотопных вариаций $\delta^{18}\text{O}$ в снежном покрове, формирующемся в пределах фоновой и городской территорий. Исследование проводилось на полигонах ИОА СО РАН: обсерватории «Фоновая» и Базовом Экспериментальном Комплексе «БЭК» (восточная окраина г. Томска).

Для оценки динамики выпадения снегопадов и изменения высоты снежного покрова на рассматриваемых площадках проводился сбор и анализ метеоданных, находящихся в открытом доступе (<https://tr5.ru>). При характеристике стратиграфии снежного покрова отмечалось наличие ветровых уплотнений в снежной толще, следов оттепелей, сублимационных преобразований снежных зерен при перекристаллизации.

Комплекс исследований включал в себя измерение оптической плотности с помощью спектрофотометра «Solar PB2201», оценку оптической прозрачности снега в УФ-диапазоне с использованием специального метода ультрафиолетовой (УФ) дозиметрии, изучение гранулометрического состава. Кроме того, проводилась сравнительная оценка запыленности приземного аэрозоля на фоновой и городской территориях с использованием аэрозольных спектрометров Grimm 1.108 и Grimm 1.109, а также траекторный анализ с использованием траекторной модели NOAA HYSPLIT и сеточных метеополей NCEP/NCAR Reanalysis. Изотопный анализ снежной толщи проводился на масс-спектрометре DELTA V Advantage (Thermo Fisher Scientific, г. Бремен, Германия).

Использовались данные измерений, полученные с помощью оборудования в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ГАЗОАНАЛИЗАТОРА СОСТАВА АТМОСФЕРЫ РС МКС

Н.А. Альперина, А.А. Большаков, Р.А. Гитинов

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

Приведены исследования АО «НИИ ТМ» на предмет возможности контроля газоанализатором состава атмосферы РС МКС широкого спектра газов газовой среды в рамках совместных работ с АО «СНИИП» по созданию Автоматизированной системы мониторинга экологической обстановки.

Основной задачей исследования было определение стабильности работы газоанализатора состава атмосферы РС МКС в рамках климатических условий земли, определение повторяемости измеряемых параметров концентрации целевых газов, его границ чувствительности, а также коэффициента селективности к перекрестным помехам. В целях достижения поставленной задачи была разработана программа, которая реализует алгоритм сбора и обработки полученных данных на основе пакета прикладных программ Matlab. В результате удалось автоматизировать процесс обработки результатов измеряемых параметров концентрации исследуемых газов при различных климатических условиях, полученных с газоанализатора состава атмосферы РС МКС и дополнительных средств измерений, используемых в данной работе.

КРУГЛЫЙ СТОЛ

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК НА ТРАССЕ ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

А.В. Климкин¹, Г.П. Коханенко¹, К.Ю. Осипов¹, А.Г. Титов², Шо Чжан¹

¹Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия
862238537@qq.com

Лидар, как средство исследования атмосферных процессов, широко используется при изучении распространения аэрозольных и газовых загрязнений. При экологическом мониторинге и, тем более, при использовании для измерений мобильного лидара, важно не только констатировать факты загрязнений, но и получать информацию о динамике их распространения и месте расположения их источника. В докладе представлены программные методы расчёта координат точек на трассе зондирования (пространственное разрешение лидара по дистанции, обусловленное частотными характеристиками АЦП) и нанесения «веера» трасс зондирования, получаемого при сканировании лидаром сектора неба.

Координаты каждой точки на трассе зондирования рассчитываются с использованием метода Винцети [1] из координат положения лидара, направления зондирования и расстояния до каждой такой точки. В результате данных расчётов устанавливаются координаты для элементов облака точек на трассе зондирования.

На основе полученного массива координат точек создается картографический слой с использованием открытого программного обеспечения Geoserver (<https://geoserver.org/>), с целью его последующего отображения. Для визуализации могут использоваться как настольные приложения (QGIS, <https://www.qgis.org/>), так и веб-клиенты ГИС (OpenLayers, <https://openlayers.org/>). В качестве картографической основы используются стандартные карты Google Maps и Bing.

Работы выполнены в рамках государственного задания ИОА СО РАН (проект № 121031500340-6) в части разработки алгоритма расчёта координат, в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН (проект № FWRG-2021-0004) в части разработки алгоритма использование on-line карт и при поддержке РФФИ (грант № 19-48-700014) в части получения лидарных данных.

1. *Vincenty T.* Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations // Survey review. 1975. V. 23, N 176. P. 88–93

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЛИДАРНЫХ СИСТЕМ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АЭРОЗОЛЯ

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

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

Исследование связано с возможностями и ограничениями лидарных систем для оценки микрофизических параметров аэрозоля. Рассматриваются особенности определения комплексного показателя преломления $m = m_{\text{real}} + i \cdot m_{\text{image}}$ и бимодальной функции распределения сферических частиц по размерам $U(r)$ по данным лазерного зондирования на длинах волн 355–1064 нм. Возможность совместного восстановления $m + U(r)$ проводится при справедливости $m^{\text{fine}} \neq m^{\text{coarse}}$. Основное внимание уделяется погрешностям искомых параметров для различного набора оптических коэффициентов, $(3Bsc + 2Ext)$ или $(3Bsc + 3Ext)$. Тестирование алгоритмов проводится при фиксированном значении m^{fine} (1,50 + $i \cdot 0,01$) и девяти величинах m^{coarse} ($m_{\text{real}} = 1,40, 1,50, 1,60$; $m_{\text{image}} = 0,0001, 0,001, 0,01$). Чтобы учесть влияние вклада модальных частиц в их суммарную концентрацию, используются 462 эмпирические модели $U(r)$.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОРИЕНТАЦИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ОБЛАКАХ

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

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

Приводятся результаты исследования ориентации кристаллических частиц, проведенные с помощью сканирующего поляризационного лидара ЛОЗА-МЗ. В течение 2022 г. проведено несколько серий измерений структуры кристаллической облачности верхних ярусов в режиме зенитного сканирования. Обсуждаются выбор вида распределения углов наклона частиц относительно горизонтальной плоскости, проблемы наблюдения углового отражения и обнаружения азимутальной ориентации частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Томской области (проект № 19-48-700014).

ЗОНДИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И БИООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КАРСКОГО МОРЯ ЛИДАРМ С БОРТА САМОЛЕТА

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

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

Уже не первый год проводятся комплексные эксперименты по исследованию аэрозольно-газового состава тропосферы российского сектора Арктики с борта самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик» [1]. В состав научного оборудования УНУ самолета-лаборатории входит аэрозольно-рамановский лидар ЛОЗА-А2 [2]. При полетах над морями на высотах эшелона ~200 м, для расширения информативности данных измерений с борта самолета, проводилось зондирование водной толщи лидаром. По записям лидарных профилей эхо-сигналов поляризованного канала 532 нм восстанавливался показатель ослабления в воде, являющийся одной из первичных характеристик оптических свойств воды. Его значения позволяют оценить степень загрязненности воды или мутность. Измерения мощности сигнала Лазерно-Индукцируемой Флуоресценции (ЛИФ) фотосинтезирующего пигмента фитопланктона (хлорофилла-*a*) в полосе спектра 680 нм позволяют определить относительное содержание концентрации хлорофилла. Этот параметр характеризует биомассу фитопланктона и является ключевой характеристикой для расчёта продуктивности океана и морей.

В докладе представлены первичные результаты данных зондирования поверхностной водной толщи с борта самолета, полученных при полетах в сентябре 2022 г. над Карским морем. Особенностью этих полетов было сопровождение измерений научно-исследовательским судном «Академик Мстислав Келдыш». Данные измерений *in-situ* с борта судна позволяют калибровать данные полученные при дистанционном зондировании воды с борта самолета.

1. Belan B.D. et al. Integrated airborne investigation of the air composition over the Russian sector of the Arctic // Atmos. Meas. Tech. 2022. V. 15. P. 3941–3967.
2. Nasonov S., Balin Yu., Klemasheva M., Kokhanenko G., Novoselov M., Penner I., Samoilova S., Khodzher T. // Mobile Aerosol Raman Polarizing Lidar LOSA-A2 for Atmospheric Sounding // Atmosphere. 2020. V. 11. 1032. DOI: 10.3390/atmos11101032.

РАЗРАБОТКА НОВОГО УСТРОЙСТВА ФОТОПРИЁМНИКА НА БАЗЕ ЛФД С30956ЕН-ТС

А.А. Рябинин

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

Эксплуатация предыдущей версии фотоприемника на основе С30956ЕН-ТС показала ряд существенных недостатков, которые надлежит исправить. К недостаткам относятся слабая помехозащищенность аналогового тракта, наличие большого количества функциональных узлов, построенных на импульсном принципе, высокая плотность компоновки, затрудняющая ремонт и обслуживание устройства.

В качестве решения данной проблемы была предложена и разработана модульная концепция фотоприемника, с разнесенными в пространстве функциональными узлами, закрепленными на общей плате, а также использованием линейных источников вторичного электропитания.

РАЗВИТИЕ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРИСТЫХ ОБЛАКОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ЛИНЕЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ОКРЕСТНОСТИ НАПРАВЛЕНИЯ РАССЕЯНИЯ НАЗАД

А.В. Коношонкин^{1,2}, Н.В. Кустова¹, В.А. Шишко¹, Д.Н. Тимофеев¹, И.В. Ткачев¹, А.Г. Боровой¹

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

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

Оптические свойства ледяных кристаллических частиц, характерных для перистых облаков, представляют огромный интерес в контексте задачи интерпретации лидарных данных [1]. В настоящее время в мире лишь небольшое число научных коллективов ведут исследования в данном направлении [2]. Одной из таких групп проводит исследования на базе Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.

Для интерпретации данных лазерного зондирования перистых облаков в первую очередь необходимо провести исследования задачи рассеяния света в направлении рассеяния назад. В этом направлении появляется когерентный пик обратного рассеяния, который не может быть корректно рассчитан ни в рамках приближения геометрической оптики из-за образующейся сингулярности, ни точными численными методами из-за ограниченности в вычислительных ресурсах.

Нами получено решение задачи рассеяния света не только в направлении рассеяния строго назад, но и в некоторой его окрестности. Для решения использовался метод физической оптики. Полученное решение позволило выявить ряд интересных особенностей в поведении поляризационных характеристик рассеянного в окрестности направления назад света. Результаты исследования могут быть полезны при создании алгоритмов интерпретации данных лазерного зондирования.

1. *Liou K.-N., Yang P.* Light scattering by ice crystals. Fundamentals and applications. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2016. 460 p.
2. *Mishchenko M.I., Hovenier J.W., Travis L.D.* Light Scattering by Nonspherical Particles. San Diego, United States: Academic, 2000. 720 p.

КРУГЛЫЙ СТОЛ

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЛАНЫ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД ОКЕАНОМ В 2022 г.

С.М. Сакерин

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

В сотрудничестве нескольких организаций (ИОА, ЛИН, ИХКГ, ИМКЭС СО РАН, ИО РАН и ААНИИ) в 2022 г. продолжены многолетние исследования физико-химических характеристик атмосферного аэрозоля в высокоширотных районах океана. В докладе представлен обзор полученных результатов, касающихся пространственно-временной изменчивости аэрозоля над Южным и Северным Ледовитым океаном, а также на полярных станциях в п. Баренцбург (арх. Шпицберген) и «Мысе Баранова» (арх. Северная Земля). Приводится информация о ходе исследований аэрозоля в трех арктических экспедициях 2022 г. и планах работ по проекту РНФ на 2023 г.

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

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НАД АРКТИЧЕСКИМИ МОРЯМИ В 89 РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ»

И.А. Круглинский¹, Д.М. Кабанов¹, С.М. Сакерин¹, М.Д. Кравчишина²

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

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
iak@iao.ru*

В сентябре–октябре 2022 г. продолжены экспедиционные исследования характеристик атмосферного аэрозоля в 89-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Состав исследуемых характеристик включал: аэрозольную оптическую толщину (АОТ) атмосферы в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм, счетную концентрацию частиц аэрозоля радиусом 0,2–5 мкм и массовую концентрацию поглощающего вещества (черного углерода) в составе аэрозоля. Измерения характеристик аэрозоля проводились в акватории Баренцева и Карского морей. Обсуждаются ситуации аномально высокого содержания аэрозоля в арктической атмосфере. Приводятся статистические характеристики аэрозоля для двух морских районов в сравнении со средними данными предшествующих экспедиций [1, 2].

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

1. Sakerin S.M., Kabanov D.M., Makarov V.I., Polkin V.V. et al. Spatial distribution of atmospheric aerosol physicochemical characteristics in Russian sector of the Arctic Ocean // Atmosphere. 2020. V. 11, N 11. P. 1170. DOI: 10.3390/atmos1111170.
2. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Калашиникова Д.А. и др. Пространственно-временная изменчивость характеристик атмосферного аэрозоля над Карским, Баренцевым, Норвежским и Гренландским морями (экспедиции 2018–2021 гг.) // Оптика атмосфер. и океана. 2022. Т. 35, № 6. С. 447–455. DOI: 10.15372/AOO20220603.

ВКЛАДЫ АНТРОПОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СОДЕРЖАНИИ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ: ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ

А.А. Виноградова^{1,2}, Ю.И. Иванова¹

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

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Северо-западное отделение, г. Москва, Россия
anvinograd@yandex.ru*

Выполнены модельные оценки концентрации черного углерода (black carbon – BC) в воздухе разных районов Российского севера: Кольский п-ов (КП), Архангельская обл. (АрхО), Ненецкий заповедник (НЗ), Гыданский заповедник (ГЗ) – зимой и летом 2015 и 2016 гг., как продолжение работы [1]. Выбросы BC в атмосферу рассматриваются на территории севера Евразии – от антропогенных источников (<http://acs.engr.utk.edu/Data.php>), где включены бытовые и промышленные предприятия и приборы, энергетика, транспорт и факелы сжигания попутного газа, и от лесных пожаров (<http://www.globalfiredata.org>). Анализ дальнего переноса BC в атмосфере основан на методе статистики обратных траекторий движения воздушных масс (ARL NOAA, HYSPLIT model) и функции чувствительности к потенциальным источникам субмикронного аэрозоля, развитом в [2].

Для всех рассматриваемых районов вклады антропогенных источников в содержание BC в воздухе преобладают над вкладами природных пожаров. Воздействию выбросов факелов сжигания попутного газа (в близких местах активной добычи углеводородного сырья) наиболее подвержены районы НЗ и ГЗ и, соответственно, акватории Печорского и Карского морей. Наибольшее влияние эмиссий BC от европейских источников подвержены территории КП и АрхО. Межгодовые и межсезонные изменения концентрации BC в воздухе велики и обусловлены как вариациями циркуляции атмосферы, так и пространственными и межгодовыми различиями эмиссий BC от пожаров.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 22-77-10074).

1. Vinogradova A.A. et al. 2017. DOI: 10.1134/S1024856017060161.

2. Vinogradova A.A. 2015. DOI: 10.1134/S0001433815070099.

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕРЕНИЙ В РОССИЙСКОМ НАУЧНОМ ЦЕНТРЕ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

Д.М. Кабанов¹, В.Ф. Радионов², С.М. Сакерин¹, О.Р. Сидорова², 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
dkab@iao.ru*

Регулярные измерения характеристик аэрозоля в Российском научном центре на арх. Шпицберген (РНЦШ; 78,06' с.ш., 14,22' в.д.) начались в апреле 2011 г. В работе рассматривается временная изменчивость следующих характеристик: 1) объемной концентрации мелко- и грубодисперсного аэрозоля в приземном слое (V_f и V_c); 2) массовой концентрации в аэрозоле поглощающего вещества в эквиваленте элементарного черного углерода (eBC); 3) двух компонент аэрозольной оптической толщи атмосферы (АОТ, τ^f и τ^c).

Отмечается, что средний сезонный ход τ^a (характеризуется весенним и летним максимумами) определяется изменчивостью τ^f и в последнее десятилетие формировался под влиянием двух факторов. Во-первых, увеличением выносов дымового аэрозоля с континента, в основном в июле–августе. Во-вторых, снижением уровня весеннего максимума $\tau_{0,5}^a$ (в среднем на 0,012 за 11 лет). В годовом ходе eBC выделяется максимум в апреле и менее выраженный в июле, а в межгодовой изменчивости наблюдается значимый спад (в среднем, на 7,8 нг/м³ в год). Средняя сезонная изменчивость V_f и V_c характеризуется двумя максимумами: февраль–апрель и июль–сентябрь.

Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта ИОА СО РАН № 121031500342-0. Расчет АОТ выполнялся с использованием методик и оборудования ЦКП «Атмосфера» при поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2021-661).

СОДЕРЖАНИЕ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА В СОСТАВЕ АЭРОЗОЛЯ НАД СЕВЕРНЫМ ЛЕДОВИТЫМ ОКЕАНОМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОРСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ 2007–2021 гг.

И.А. Круглинский¹, Д.М. Кабанов¹, В.М. Копейкин², А.Н. Новигатский³, А.О. Почуфаров¹, С.М. Сакерин¹, Ю.С. Турчинович¹, В.П. Шевченко³

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

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

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

iak@iao.ru

Исследование атмосферного аэрозоля в различных морях евразийского сектора Северного Ледовитого океана выполнялось в период 2007–2021 гг. Содержание черного углерода в составе аэрозоля (eBC) измерялось с помощью аэталометра МДА [1], либо фильтровым методом: путем многочасовой прокачки воздуха через фильтры с последующим измерением коэффициента экстинкции осажденного вещества [2]. Всего было проведено 26 морских экспедиций (670 дней измерений). В докладе представлена характеристика данных, результаты идентификации аномально высоких (для арктических районов) значений eBC. Приводятся статистические характеристики eBC для разных морей и всего массива данных. Проводится сопоставление полученных результатов с данными реанализа MERRA-2.

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

1. Kozlov V.S., Shmargunov V.P., Panchenko M.V. Modified aethalometer for monitoring of black carbon concentration in atmospheric aerosol and technique for correction of the spot loading effect // Proc. SPIE. 22nd International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2016. 1003530. DOI: 10.1117/12.2248009.
2. Копейкин В.М., Ретина И.А., Гречко Е.И., Огородников Б.И. Измерение содержания сажевого аэрозоля над водной поверхностью в южном и северном полушариях // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 444–450.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ОТДЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРНОМ АЭРОЗОЛЕ МЕТОДОМ ИЗОТОПНОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Г.В. Симонова¹, Д.А. Калашникова¹, А.О. Почуфаров², И.А. Круглинский², Ю.С. Турчинович²

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

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

terrezaprk@mail.ru

Углеродистые частицы подразделяются на элементарный углерод (EC), органический углерод (OC), состоящий из водонерастворимого органического углерода (WINSOC) и водорастворимого органического углерода (WSOC), и неорганический углерод (карбонаты). EC считается первичным загрязнителем, возникающим в результате первичных выбросов и, в основном, связан с источниками горения, а также с лесными пожарами. Фракции OC представляют собой первичные и вторичные загрязнители. Первичные частицы OC в основном образуются в результате сжигания или от биогенных источников, частицы вторичного OC образуются в результате атмосферных реакций с участием газообразных органических прекурсоров. В настоящее время большинство исследований сосредоточено на изучение изотопного состава общего углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$). Однако в исследовании показано, что измерение величины $\delta^{13}\text{C}$ в различных фракциях углеродистого аэрозоля расширяет возможности различения источников загрязнения и помогает идентифицировать процессы, влияющие на частицы аэрозоля [1].

В работе представлен анализ возможностей исследования изотопного состава углерода отдельных фракций атмосферного аэрозоля. Приведены экспериментальные данные анализа образцов аэрозоля, отобранных во время морских экспедиций, на Ледовой станции «Мыс Баранова», во время полетов самолета-лаборатории ИОА СО РАН, а также в Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 21-77-20025), базового проекта FWRG-2021-0001 и в рамках договора № 76-НИР.

1. Suto N., Kawashima H. // Rapid Commun. Mass Spectrom. 2018. V. 32. P. 1668–1674.

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА АЭРОЗОЛЬНОЙ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.О. Почуфаров¹, С.М. Сакерин¹, Ю.С. Турчунович¹, В.И. Макаров²

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

²Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, Россия
roa216@iao.ru

Атмосферный аэрозоль играет важную роль в процессах формирования климата и экологического состояния окружающей среды. Оптические и микрофизические характеристики измеряются инструментальными средствами в режиме реального времени. Для определения химического состава используется отбор проб аэрозоля на различные типы фильтров с последующим анализом в лабораторных условиях. В рамках реализации задачи по автоматизации отбора проб нами ведётся разработка комплекса автоматизированного сбора аэрозольной и метеорологической информации (АСАМИ) [1], предназначенного для измерений в морских экспедициях и на полярных станциях.

В докладе представлено описание и результаты испытаний основной части комплекса АСАМИ, включающего пятиканальную воздухоудвку (на основе вихревого насоса Becker) с фильтродержателями и цифровыми датчиками расхода газа. Кроме того, представлена работа отдельных электронных блоков, входящих в комплекс АСАМИ: датчик частиц, метеосистема, блок управления.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 21-77-2005).

1. Почуфаров А.О., Сакерин С.М. Концепция создания автоматизированного комплекса сбора аэрозольной и метеорологической информации // Тезисы докладов XIV Сибирского совещания и школы молодых ученых по климато-экологическому мониторингу. Томск, 19–22 октября 2021 г. С. 252–254. http://imces.ru/media/uploads/XIV_CCKEM_2021_sb.pdf.

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ ОДНОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОЗОЛЯ НА АРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И НАД СОСЕДНИМИ МОРЯМИ

В.В. Полькин¹, Д.М. Кабанов¹, В.Ф. Радионов², С.М. Сакерин¹, Д.Г. Чернов¹, В.П. Шевченко³

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

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

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

В последнее десятилетие нами проводятся ежегодные измерения характеристик атмосферного аэрозоля в акватории арктических морей и на двух полярных станциях: Баренцбург (арх. Шпицберген) и «Мыс Баранова» (арх. Северная Земля). В число исследуемых характеристик входят счетные концентрации частиц аэрозоля радиусом 0,2–5 мкм, массовая концентрация поглощающего аэрозоля в эквиваленте черного углерода и аэрозольная оптическая толщина атмосферы в диапазоне спектра 0,34–1,55 (2,14) мкм. В докладе обсуждаются первые результаты сравнительного анализа данных параллельных измерений характеристик аэрозоля в районе арктических станций и над соседними. Анализируются причины и величина различий характеристик аэрозоля в метеорологическом масштабе.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ПОЛЯРНЫХ СТАНЦИЯХ «МЫС БАРАНОВА» И «БАРЕНЦБУРГ» В 2021–2022 гг.

Д.Г. Чернов¹, О.Р. Сидорова², А.А. Фёдорова², М.А. Лоскутова², Д.Д. Ризе²

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

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

В 2021–2022 гг. продолжены экспедиционные исследования микрофизических характеристик аэрозоля на двух полярных станциях: «Ледовая база «Мыс Баранова» (о-в Большевик, арх. Северная Земля) и «Баренцбург» (арх. Шпицберген). В ходе круглогодичных экспедиций измеряются следующие характеристики: счетные концентрации частиц, массовые концентрации аэрозоля и поглощающего вещества (сажи) в составе аэрозоля.

В докладе обсуждаются статистические характеристики аэрозоля и особенности их сезонной изменчивости за последний год измерений (с октября 2021 г.). Также проводится сравнение данных текущего сезона с данными многолетних измерений.

Предварительная обработка данных 2021–2022 гг. и анализ многолетних данных выполнялись в рамках госбюджетного проекта ИОА СО РАН № 121031500342-0.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ОПТИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СЛУЧАЙНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ, ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВЕТРОВЫХ ПОЛЕЙ»

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОГЕРЕНТНОСТЬ ЧАСТИЧНО КОГЕРЕНТНЫХ ВИХРЕВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ТУРБУЛЕНТНОЙ СРЕДЕ

И.П. Лукин

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

В сингулярной оптике, являющейся одним из важных направлений современной оптики, большое внимание уделяется исследованию вихревых пучков. Характерной особенностью монохроматических когерентных вихревых пучков является изолированный ноль интенсивности на оптической оси пучка. По мере развития исследований распространения в средах частично когерентного и частично поляризованного полихроматического оптического излучения с геликоидальным фазовым фронтом, стало актуально изучение вихрей когерентности. Особую роль при распространении вихревых пучков может сыграть наличие свойства инвариантности у таких пучков.

В работе проводится теоретическое исследование когерентных свойств частично когерентных вихревых бессель-гауссовых пучков, распространяющихся в турбулентной среде, т.е. конкретно рассчитывается поперечная функция взаимной когерентности второго порядка поля оптического излучения, полученная в параксиальном приближении. Для частично когерентного оптического пучка функция взаимной когерентности второго порядка поля источника задавалась в виде гауссовой модели. Проанализировано поведение средней интенсивности, модуля комплексной степени когерентности (степени когерентности), фазы комплексной степени когерентности, радиуса когерентности и интегрального масштаба степени когерентности частично когерентного вихревого бессель-гауссова пучка, распространяющегося в турбулентной среде, в зависимости от параметров оптического излучения (в частности, от ширины корреляции поля источника частично когерентного излучения) и оптической толщи турбулентной среды. Показано, что все характеристики частично когерентного вихревого бессель-гауссова пучка существенно зависят от величины топологического заряда пучка. Установлено также, что устойчивость частично когерентных вихревых бессель-гауссовых пучков возрастает с увеличением значения топологического заряда пучка.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

КОНТРОЛЛЕР МОБИЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ЛИДАРА

А.П. Ростов

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

Разработан работающий макет многоканальный контроллер для бортового самолетного турбулентного лидара.

Турбулентные лидары совсем недавно стали использоваться для дистанционного зондирования турбулентности атмосферы [1, 2]. Это в основном экспериментальные громоздкие установки, в составе которых всегда есть, как минимум, один ПК.

Мы сделали попытку разработать и изготовить турбулентный лидар самолетного базирования. При разработке уделялось внимание габаритам, надежности и простоте управления.

Контроллер лидара обеспечивает накопление и регистрацию четырех эхо-сигналов в режиме счета фотонов, запись накопленных профилей на SSD карту, управление лазерным передатчиком, контроль температуры в 8 точках корпуса лидара, доступ до всех узлов с ПК через Ethernet интерфейс.

В составе контроллера 6 процессоров. Четыре спецпроцессора реализованы в ПЛИС. Два на универсальных микроконтроллерах.

1. Гурвич А.С. Лидарное зондирование турбулентности на основе эффекта усиления обратного рассеяния // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2012. Т. 48, № 6. С. 655–665.
2. Разенков И.А. Турбулентный лидар. I. Конструкция // Оптика атмосфер. и океана. 2018. Т. 31, № 1. С. 41–48.

О СПЕКТРЕ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА (0,63 мкм) В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ В МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ СНЕГОПАДАХ

Н.А. Вострецов

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

Приведены результаты исследования спектров флуктуаций интенсивности рассеянного излучения фокусированного лазерного пучка (0,63 мкм) в приземной атмосфере в мелкодисперсных снегопадах. В экспериментах использовался одномодовый лазер ЛГН-215, длина волны 0,63 мкм, диаметр пучка 16 см на выходе в атмосферу. Пучок фокусировался в конце трассы $L = 130$, диаметр в фокусе не более 3–4 мм. Фотоприемник с диафрагмой 0,1 мм (поле зрения $2,7 \cdot 10^{-2}$ рад) устанавливался на 10 мм от фокуса в области рассеянного излучения.

Установлено, что величина низкочастотного наклона (g_n) спектра до снегового максимума не зависит от скорости ветра (V , м/с) и её перпендикулярной составляющей к трассе ($V_{\text{пер}}$, м/с), оптической толщи (τ). Величина высокочастотного наклона ($g_{1в}$) спектра после снегового максимума увеличивается с ростом оптической толщи (τ), а величина наклона ($g_{2в}$) вблизи максимума сначала уменьшается и затем насыщается. Величина высокочастотного наклона ($g_{1в}$) спектра после снегового максимума не зависит от скорости ветра (V , м/с). Величина высокочастотного наклона ($g_{1в}$) спектра после снегового максимума уменьшается с ростом $V_{\text{пер}}$, а наклон ($g_{2в}$) вблизи максимума наоборот увеличивается с ростом $V_{\text{пер}}$. Часть спектров после снегового максимума спадает по экспоненте. Величина высокочастотного наклона ($g_{\text{экс}}$) спектра после снегового максимума в случае спадания по экспоненте увеличивается с ростом оптической толщи (τ) и уменьшается по экспоненте с ростом скорости ветра (V , м/с) и линейно с ростом перпендикулярной составляющей скорости ветра ($V_{\text{пер}}$, м/с).

Величина снегового максимума (f_{max} , Гц) увеличивается с ростом оптической толщи (τ) и скорости ветра (V , м/с) и не зависит от перпендикулярной составляющей к трассе ($V_{\text{пер}}$, м/с).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ-ШУМ ИЗ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИДАРОМ ЛРВ

А.М. Шерстобитов^{1,2}, В.А. Банах¹, И.Н. Смалихо¹

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

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
shrarm@iao.ru, banakh@iao.ru, smalikh@iao.ru*

В 2019 г. в Лаборатории распространения волн (ЛРВ) был создан импульсный когерентный доплеровский лидар (лидар ЛРВ) и успешно проведены его тестовые испытания [1]. Через два года лидар ЛРВ был усовершенствован (установлено новое сканирующее устройство, смонтирован влагонепроницаемый внешний корпус лидара, что позволило эксплуатировать лидар в любых погодных условиях в летний период, загружено новое программное обеспечение в компьютер лидара и сделан ряд других изменений, способствовавших улучшению работы лидара). Однако, используемый ранее алгоритм определения отношения сигнал-шум (ОСШ) не всегда позволял получать корректные оценки ОСШ. Это связано с особенностью лидара ЛРВ: существенной зависимостью мощности шумовой составляющей лидарного сигнала от времени (дальности зондирования).

В настоящей работе предлагается новый алгоритм, позволяющий корректно определять ОСШ из измерений лидаром ЛРВ с учетом упомянутой выше особенности. Тестирование алгоритма на экспериментальных данных (измерения лидаром ЛРВ в 2019–2022 гг.) показало значительное улучшение точности оценок ОСШ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-17-00170-П).

1. Banakh V.A., Nadeev A.I., Razenkov I.A., Smalikh I.N., Falits A.V., Sherstobitov A.M. // Proc. SPIE. 2019. V. 11208. CID: 11208 5K. [11208-323]. P. 112085K-1–112085K-9.

ОЦЕНКА ПРОФИЛЯ БОКОВОГО ВЕТРА ИЗ СТАТИСТИКИ ФЛУКТУАЦИЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПОДСВЕЧЕННОЙ ЛАЗЕРНЫМ ПУЧКОМ ДИФFUЗНОЙ МИШЕНИ

Д.А. Маракасов, А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, А.П. Ростов, В.В. Кусков

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
mda@iao.ru, afanasiev@iao.ru, banakh@iao.ru, rostov@iao.ru, vvk@iao.ru*

Предложен метод определения профиля вдоль оптической трассы поперечной компоненты скорости ветра из пространственно-временной статистики флуктуаций изображения подсвеченной расходящимся лазерным пучком диффузной мишени. Алгоритм обработки видеоизображений основан на параметрической подгонке корреляционной функции флуктуаций интенсивности в изображении мишени. Представлены результаты проверки алгоритма в экспериментах на полигоне БЭК ИОА СО РАН, в которых независимые измерения профиля ветра проводились посредством массива акустических анемометров, разнесенного вдоль оптической трассы.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ К ОПТИЧЕСКОЙ ТРАССЕ КОМПОНЕНТЫ СКОРОСТИ ВЕТРА ПО ДРОЖАНИЮ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА В ПРИЁМНОМ ТЕЛЕСКОПЕ

Д.А. Маракасов, А.Л. Афанасьев

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

Анализируется двумерное поле случайных смещений энергетического центра тяжести изображения точечного источника, вызванных атмосферной турбулентностью. Показано, что при наличии поперечного ветрового переноса неоднородностей статистические характеристики поля становятся анизотропными, что позволяет определять направление интегральной вдоль трассы поперечной компоненты ветра. Представлены результаты экспериментов на атмосферных трассах различной протяженности, демонстрирующие работоспособность предлагаемой методики.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА В ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

Д.А. Маракасов, А.А. Сухарев

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

Представлены алгоритм восстановления пространственной структуры средней плотности воздуха и ее колебаний на резонансных частотах в осесимметричной сверхзвуковой струе и результаты ее анализа на основе результатов лазерного просвечивания струй в экспериментах на Вертикальной струйной установке ИТПМ СО РАН. Алгоритм восстановления плотности из поперечных относительно оси струи отклонений фронта просвечивающей волны протестирован как в вычислительном эксперименте с помощью разработанного авторами пакета программ, так и посредством сопоставления результатов измерений на струйной установке с известными из литературы данными. Продемонстрирована хорошая чувствительность локальных наклонов волнового фронта к колебаниям плотности воздуха на частотах дискретных акустических тонов, что открывает возможности экспериментального исследования их пространственной структуры в канале струи.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

СПЕКТРЫ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В ДОЖДЕ, МОРОСИ, ТУМАНЕ И ДЫМКЕ

Р.Ш. Цвык, Н.А. Вострецов

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

Представлены результаты экспериментальных исследований спектров флуктуаций интенсивности рассеянного вперед излучения лазерного пучка распространяющегося в приземной атмосфере в дожде, мороси, тумане и дымке. Излучение лазерного пучка фокусировалось в конце трассы длиной 130 м. Измерение флуктуаций интенсивности выполнены на расстоянии 10 мм от фокального пятна, в области излучения рассеянного на частицах. Полный угол поля зрения приемника равен $2,7 \cdot 10^{-2}$ рад. Спектры мощности флуктуаций рассеянного излучения $U(f) = fW(f)$ нормированные на частоту максимума f_{\max} и амплитуду $A(f_{\max})$ совмещаются. В дожде, мороси и дымке спектры включают три характерных наклона γ : наклон низкочастотного участка спектра $1 > \gamma_n > 0$ при $f < f_{\max}$ и два наклона высокочастотного участка при $f > f_{\max}$ $\gamma_v = -2,5 \dots -5/3$ и $\gamma_{v1} = -3 \dots -5$, в слабом тумане – два участка. Участок γ_v соответствует инерционному интервалу турбулентности, а γ_{v1} – диссипации. Частота максимума спектров флуктуаций рассеянного поля определяется взаимодействием трехмерного вихревого поля флуктуаций скорости ветра V и полем распределения частиц по размерам, массе и коэффициентом их увлечения. Средняя скорость ветра переносит высокоскоростное вихревое поле и практически не влияет на f_{\max} .

Работа выполнена в рамках базового проект № АААА-А17-117021310149-4 – Банах В.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ТУРБУЛЕНТНОГО ЛИДАРА

И.А. Разенков

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

Турбулентный лидар представляет собой микро импульсный аэрозольный лазерный локатор, который позволяет дистанционно оценивать интенсивность оптической турбулентности в атмосфере [1]. Конструкция лидара предполагает наличие одного передающего канала и двух принимающих, причем один совмещен с передающим каналом. Лидар предназначен для продолжительной непрерывной работы в автоматическом режиме, поэтому важно, чтобы он работал стабильно даже при изменении температуры окружающей среды. Лидар собирается на жестком основании (оптическая скамья), деформация которого смещает оптические оси передатчика и приемников относительно друг друга [2]. В докладе приводятся результаты исследования двух различных конструкций турбулентного лидара. Анализ полученных данных позволил сформулировать рекомендации, которые можно использовать для создания улучшенной версии турбулентного лидара. Предложено отказаться от применения системы контроля температуры внутри лидара и использовать прокачку наружного воздуха через середину скамьи. При этом основные выделяющие тепло элементы разместить в изолированных секциях и с целью охлаждения обеспечить через эти секции прокачку наружного воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 075-15-2021-934).

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. Анализ технических решений при проектировании турбулентного лидара // Оптика атмосф. и океана. 2022. Т. 35, № 9. С. 766–776.

ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕКТИВНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НАД НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Л.О. Герасимова¹, В.В. Рейно¹, А.Н. Шестернин¹, Р.Ш. Цвык¹, М.В. Агафонцев^{1,2}

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

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

Представлены результаты бесконтактного метода измерения мгновенных значений температуры теплового потока над нагретой металлической поверхностью. Проведённые исследования параметров конвективной турбулентности методами скоростной термографии по малоинерционным мишеням, подвешенными над нагретой

поверхностью, показали возможность получения заданных характеристик конвективной турбулентности до температур 200 °С. Это стало реализуемым после модернизации электрического питания и поверхности стенда конвективной турбулентности. В результате проведенной модернизации поверхность стенда по своей излучательной способности стала близка к свойствам АЧТ. Получить требуемые значения конвективности в определенном слое можно, меняя высоту над поверхностью и изменяя температуру нагреваемой поверхности. Степень турбулентности в слое определяется значением структурной функции показателя преломления, частотным спектром пульсаций температуры, корреляционными функциями и внешним масштабом турбулентности. Модернизированный стенд позволяет в лабораторных контролируемых условиях задавать нужный уровень турбулентности, определять характеристики и границы применения адаптивных систем управления распространением лазерных пучков, включая вихревые пучки разных форм и зарядов, а также свойства и параметры других оптических устройств.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН с использованием оборудования ЦКП «Атмосфера» при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2021-661).

СРЕДНИЙ ВЕКТОР ПОЙНТИНГА ЧАСТИЧНО КОГЕРЕНТНЫХ ВИХРЕВЫХ ЛАГЕРР-ГАУССОВЫХ ПУЧКОВ НА ТРАССЕ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Д.С. Рычков

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

Рассмотрено влияние фазовых искажений начального поля с квадратичной структурной функцией фазы на пространственную динамику среднего вектора Пойнтинга Лагерр-Гауссовых лазерных пучков на трассе в турбулентной атмосфере. Исследована зависимость соотношения соленоидальной и дивергентной компонент поперечной составляющей вектора Пойнтинга от радиуса начальной когерентности поля источника.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

СОВМЕСТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕТРА КОГЕРЕНТНЫМИ ДОПЛЕРОВСКИМИ ЛИДАРАМИ ЛРВ И Stream Line В 2022 г.

И.Н. Смалихо, В.А. Банах, А.А. Сухарев, А.В. Фалиц, А.М. Шерстобитов

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

С целью исследования динамических процессов в пограничном слое атмосферы (ПСА), включая исследования низкоуровневых струйных течений, внутренних гравитационных волн (ВГВ) и ветровой турбулентности, в 2022 г. нами была проведена серия экспериментов, в которых одновременно задействовались импульсные когерентные доплеровские лидары (ИКДЛ) Stream Line и ЛРВ [1]. Лидарные измерения проводились в различных местах: 1) с 29.04.2022 по 17.07.2022 г. на Базовом экспериментальном комплексе (БЭК) ИОА СО РАН и в Томском Академгородке; 2) с 23.07.2022 по 18.08.2022 г. на побережье оз. Байкал и 3) с 22.08.2022 по 22.09.2022 г. на БЭКе. Расстояния между лидарами во время этих измерений: 2,5; 75; 400 и 3200 м. Использовались геометрии измерения лидарами: при вертикальном направлении обоих зондирующих пучков лидаров и при коническом сканировании пучками.

В результате обработки исходных данных этих измерений получены распределения по высоте и времени трех компонент вектора скорости ветра и параметров ветровой турбулентности. Рассчитаны коэффициенты корреляции скоростей ветра, измеренных на различных расстояниях по горизонтали при различном состоянии ПСА. Исследована возможность определения параметров ВГВ из совместных измерений двумя ИКДЛ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-17-00170-П).

1. Banakh V.A., Nadeev A.I., Razenkov I.A., Smalikho I.N., Falits A.V., Sherstobitov A.M. // Proc. SPIE. 2019. V. 11208. P. 112085K-1–112085K-9.

ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЭФФЕКТА УСИЛЕНИЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.В. Фалиц

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

Измерение уровня турбулентности – возможность определения значения структурной характеристики показателя преломления с помощью эффекта усиления обратного рассеяния – ограничено областью слабых флуктуаций интенсивности. Это ограничение возникает вследствие неоднозначности в определении уровня оптической турбулентности для случая, когда на трассе распространения когерентного излучения могут возникнуть условия как для слабых флуктуаций интенсивности, так и условия для сильных флуктуаций: значение эффекта усиления обратного рассеяния растет, а потом, достигая максимума, начинает падать с ростом уровня оптической турбулентности. В работе представлен новый подход к измерению уровня оптической турбулентности с помощью эффекта усиления обратного рассеяния вдоль однородных трасс, который обходит эту неоднозначность.

ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННО ОСРЕДНЕННОГО ВЕКТОРА ВЕТРА ИЗ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

А.Л. Афанасьев, В.А. Банах, Д.А. Маракасов, А.П. Ростов

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
afanasiev@iao.ru, banakh@iao.ru, mda@iao.ru, rostov@iao.ru*

Представлены результаты измерений турбулентных характеристик приземного слоя атмосферы выполненных одновременно на взаимно поперечных оптических трассах с использованием двух оптических измерителей. Получены данные о динамике изменения ветровых и турбулентных параметров пространственно осредненных по значительной площади. Проведено сравнение с локальными данными акустических метеостанций.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕКТИВНОГО ПОТОКА НАД НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Л.О. Герасимова

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

Определены параметры конвективного потока по измеренным бесконтактным методом мгновенным значениям температуры теплового потока над нагретой горизонтальной поверхностью. Исследования проведены при ламинарном, переходном и турбулентном режимах течения воздуха.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА, РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ЧЕРЕЗ МОДЕЛЬ ОГНЕННОГО СМЕРЧА

М.В. Шерстобитов

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

Использовались данные из 2 серий экспериментов по физическому моделированию огненного смерча: 1 – при взаимодействии винтообразно закрученного восходящего воздушного потока с пламенем этанола в неподвижной емкости на оси потока, 2 – с вращающимся источником горения с закрепленным соосно цилиндрическим экраном. Лазерный пучок пересекал модель огненного смерча горизонтально.

Рассчитывались спектры мощности флуктуаций интенсивности лазерного пучка. Для каждой серии таких спектров мощности была подобрана аппроксимирующая кривая, состоящая из нескольких линейных участков. Затем эта аппроксимирующая кривая задавалась в программе (в среде LabView) для моделирования флуктуаций интенсивности лазерного пучка, распространяющегося через модель огненного смерча методом одномерного фазового экрана. Замыкание программы осуществлялось путем построения спектра мощности флуктуаций интенсивности лазерного пучка из смоделированной последовательности отсчетов АЦП. Получено удовлетворительное согласие модельных и экспериментальных данных.

ВЛИЯНИЕ МОДЕЛЬНОГО ОЧАГА ПРИРОДНОГО ПОЖАРА НА НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ

Е.Л. Лобода^{1,2}, Ю.А. Лобода^{1,2}, Д.П. Касымов^{1,2}, М.В. Агафонцев^{1,2}, В.В. Рейно¹

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

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия
loboda@mail.tsu.ru

В результате многолетних совместных исследований, проводимых Томским государственным университетом и Институтом оптики атмосферы СО РАН, накоплен значительный опыт и знания о характеристиках фронта природного пожара, его возникновению и распространению, влиянию пожара на турбулентные процессы в атмосфере, выбросах и переносе продуктов горения.

В данной работе представлена часть экспериментальных данных о влиянии природных пожаров на характеристики атмосферы. Эксперименты проводились на территории Базового экспериментального комплекса Института оптики атмосферы СО РАН. Для моделирования возникновения верхового пожара был смоделирован полог леса из сосен высотой до 4 м, а также подрост из маленьких деревьев и кустарника. Экспериментальные образцы были заготовлены при рубках ухода в лесничестве Томской области и имели естественное влагосодержание. Возникновение верхового пожара моделировалось как в результате воздействия низового пожара, так и в результате воздействия потока горящих частиц, сформированного генератором горящих и тлеющих частиц [1].

В результате проведения экспериментов определены характерные масштабы турбулентности в пламени, установлено изменение флуктуаций показателя преломления, скорости звука и температуры в окрестности проведения эксперимента, которые являются отражением возникновения турбулентных процессов в атмосфере, получены экспериментальные данные о механизме возникновения верхового лесного пожара.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН и с использованием оборудования ЦКП «Атмосфера», при частичной финансовой поддержке Министерства науки и образования России (Соглашение № 075-15-2021-661).

1. Касымов Д.П., Перминов В.В., Фильков А.И., Агафонцев М.В., Рейно В.В., Лобода Е.Л. Патент № 199698 от 15.09.2020, РФ. Генератор горящих и тлеющих частиц для плоховентилируемых помещений.

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ ИЗМЕРЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МТР5 И ЗНАЧЕНИЙ БАЗЫ ДАННЫХ ЕСМWF ДО 1 км

Е.В. Гордеев

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

Разработан комплекс программ для обработки исходных данных: измерителя профиля температуры МТР5 [1], метеостанции АМК [2], и базы данных ЕСМWF [3, 4]. Проведены измерения профиля температуры посредством двух приборов МТР5, и четырех метеостанции АМК. Измерения проводились по очереди в двух локациях: БЭК ИОА СО РАН, и крыша здания ИОА СО РАН. Проведенный эксперимент позволил сравнить значения температуры АМК, МТР5, и ЕСМWF до 1 км.

Результат проведенной работы:

- Произведенное сравнение измеренных и расчетных температурных профилей показывает достоверность и достаточно высокую точность расчетных температурных профилей ЕСМWF до 1 км. Что позволяет, использовать данный источник для верификации последующих измерений.
- Проведение совместной работы двух измерителей профиля температуры МТР5 позволил верифицировать получаемые данные, и при последующей оценке профиля температуры использовать только один измеритель.
- Разработанное программное обеспечение для обработки исходных данных МТР5 и АМК позволяет оперативно оценить профиль температуры до 1 км, и зафиксировать различия между значениями базы данных ЕСМWF и значениями, полученными в результате измерений.

1. URL: <http://mtp5.ru/pdf/mtp5h.compressed.pdf>.

2. URL: <http://meteosap.ru/wp-content/uploads/2017/11/1-%D0%90%D0%9C%D0%9A-03-06-D0%A0%D0%AD.pdf>.

3. URL: <https://ecmwf.int/en/forecasts/datasets>.

4. URL: https://expoclub.ru/db/exhibition/org/detail.php?ELEMENT_ID=21850.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ В СЛУЧАЙНЫХ СРЕДАХ»

РАСЧЁТ КОРРЕЛЯЦИИ ДРОЖАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОПОРНОЙ ЗВЕЗДЫ И ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ

В.В. Носов, В.П. Лукин, Л.А. Больбасова

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

Выполнен расчёт коэффициента взаимной корреляции дрожания изображения лазерной опорной звезды (ЛОЗ) и плоской волны в фокальной плоскости телескопа. При этом полагается, что

– ось системы координат совмещена с невозмущенным положением лазерного пучка, а плоская волна падает сверху под углом к оси координат,

– ЛОЗ находится сверху на большом расстоянии от телескопа,

– ЛОЗ есть результат некогерентного рассеяния света молекулами воздуха, атомами мезосферных металлов,

– ЛОЗ случайно смещается в поперечной плоскости за счет смещения лазерного пучка.

Расчёт, выполненный по методике аналогичной используемой нами [1] ранее, показал, что такая взаимная корреляционная функция дрожания изображения состоит из двух слагаемых. При этом первое (основное) слагаемое не учитывает интегральную корреляцию флуктуаций смещения лазерного пучка с полем диэлектрической проницаемости среды, а второе – учитывает эту корреляцию по формуле Фуруцу–Новикова. При расчётах использован спектр турбулентности Колмогорова–Обухова. Оказалось, что моностатическая ЛОЗ имеет остаточное дрожание и этот сигнал может быть использован для коррекции «глобального» наклона волнового фронта в телескопах. Причём для телескопов средних размеров, работающих в условиях сильной турбулентности, величина этого случайного дрожания положения ЛОЗ будет достаточной для использования при коррекции наклона волнового фронта.

1. Больбасова Л.А., Лукин В.П., Носов В.В. О дрожании изображения лазерной опорной звезды в моностатической схеме формирования // Оптика и спектроскопия. 2009. Т. 107, № 5. С. 830–838.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ

В.П. Лукин

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

Анализируются динамические характеристики систем адаптивной оптики, работающих через турбулентную атмосферу. Используется аналитический расчет параметра Штреля на основе результатов теории распространения оптических волн в случайно-неоднородных средах. Применена простейшая модель активного зеркала-корректора. Получено выражение, связывающее все важнейшие параметры системы: точность и частоту работы датчика волнового фронта, размер апертуры оптической системы, параметры атмосферы: параметр Фрида и скорость ветра с достижимым уровнем по параметру Штреля. Подтверждено, что в системе постоянного запаздывания допустимая временная задержка сравнима со временем переноса турбулентных неоднородностей через радиус когерентности средней скоростью ветра. Доклад состоит из четырех смысловых частей. В первой части исследованы предельные возможности систем АО как динамических систем с точки зрения влияния временного запаздывания на качество коррекции искажений волнового фронта, обусловленных действием атмосферной турбулентности. При этом проанализированы соотношения между точностью измерений и частотой работы ДВФ, а также параметром Фрида для оптической волны и скоростью ветра на оптической трассе. Во второй части при анализе эффективности работы системы АО рассмотрена модель корректирующего активного зеркала-корректора, учитывающая запаздывание при обработке этим зеркалом возникающих искажений.

Третья часть посвящена сравнительному анализу двух типов построения систем АО: с открытым и замкнутым контурами слежения. Анализируется применение пропорционального и пропорционально-интегрального управления. Наконец, в заключительной части исследованы вопросы применения прогнозирующего алгоритма управления системой АО, использующей прогноз фазовых искажений в оптической волне на основе учета сноса турбулентных неоднородностей поперечной составляющей средней скорости ветра.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОРРЕКЦИИ НАКЛОНОВ ВОЛНОВОГО ФРОНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛА ОТ ЛАЗЕРНОЙ ОПОРНОЙ ЗВЕЗДЫ

А.Б. Александров, В.П. Лукин, Л.А. Больбасова

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

Рассмотрены возможности коррекции наклонов волнового фронта с использованием сигналов от лазерной опорной звезды (ЛОЗ). В частности, показано, что:

1. Проблему коррекции наклонов волнового фронта можно частично решить применением бистатической схемы формирования ЛОЗ. Наиболее применима, так называемая, бистатическая схема «первого типа», в которой формирование ЛОЗ с помощью лазерного пучка смещенного от центра приемного телескопа на такое расстояние, при котором исчезает взаимная корреляция дрожания центра тяжести лазерного пучка и дрожания изображения ЛОЗ.

2. Бистатическая схема требует специального оборудования – одного или двух дополнительных телескопов и при этом не способна обеспечить полную коррекцию случайных наклонов волнового фронта. Эксперименты 1998 и 2000 гг. на испанском 3-метровом телескопе с бистатической ЛОЗ показали возможность уменьшения случайных наклонов примерно на 30%. Возможно применение «оптимального» алгоритма и получение более высокого эффекта, однако технические сложности ограничивают применимость бистатических ЛОЗ.

3. Предложения по формированию моностатической ЛОЗ с помощью широких коллимированных лазерных пучков обладают целым рядом преимуществ, но требуют применения слишком мощных лазерных систем.

4. Уточненные расчеты взаимной корреляции дрожания изображения ЛОЗ и естественной звезды при моностатической схеме показывают, что для доказательства наличия или отсутствия эффекта «неподвижности» ЛОЗ необходима дополнительная экспериментальная проверка в реальных условиях по турбулентности российских обсерваторий.

5. Выполнена оценка предельного уровня сигнала при использовании полихромной ЛОЗ.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ WRF ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

А.Ю. Шиховцев¹, П.Г. Ковадло¹, А.А. Леженин², О.А. Коробов³

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия

*³Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия
Ashikhovtsev@iszf.irk.ru*

Атмосферная турбулентность оказывает существенное влияние на качество наземных астрономических телескопов. С целью описания структуры атмосферной турбулентности в месте расположения проектируемого Крупного солнечного телескопа мы применили модель Weather Research and Forecasting (WRF). В качестве схем параметризации использовались: Ruc YSU для атмосферного пограничного слоя, MM5 Similarity для приземного слоя атмосферы, Kain-Fritsch для облачности, Thompson для микрофизических процессов в облаках, RUC для подстилающей поверхности, Scheme Dudhia и Scheme RRTMG для коротковолновой и длиноволновой радиаций соответственно. Расчеты мезомасштабных процессов выполнены для трех доменов. Первый домен включал в себя область 1600×1600 км на сетке 200×200 узлов с шагом 8 км. Второй домен включал область 400×400 км на сетке 200×200 узлов с шагом 2 км. Вложенная область расчета соответствовала 100×100 км на сетке 200×200 узлов с шагом 0,5 км. По вертикали для всех доменов использовалось 33 уровня до высоты 25 км с увеличением вертикального разрешения в атмосферном пограничном слое.

В результате расчетов были получены вертикальные профили метеорологических характеристик для каждого часа. Вертикальные профили температуры воздуха и скорости ветра позволили восстановить средний вертикальный профиль основного параметра оптической турбулентности – структурной постоянной флуктуаций показателя преломления воздуха над местом расположения Крупного солнечного телескопа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 22-29-01137).

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ФУНКЦИЯ ПОДОБИЯ В ТЕОРИИ МОНИНА–ОБУХОВА В ЭКСТРЕМАЛЬНО УСТОЙЧИВОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

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

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

Проведены длительные наблюдения основных характеристик турбулентной атмосферы теории подобия Монина–Обухова условиях городской среды. В работе представлены новые результаты измерений 2021 г. характеристик турбулентной атмосферы в приземном слое томского Академгородка, получены новые данные для универсальной функции подобия $\varphi(\zeta)$. Эти измерения являются продолжением предыдущих исследований авторов, посвященных экспериментальному изучению пространственных производных средних характеристик атмосферной турбулентности над территориями горных обсерваторий. Для измерений использовалась мобильная ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения статистических характеристик различных метеополей (астроклимата) в турбулентной атмосфере и их пространственных производных.

Применение в теории Монина–Обухова универсальной функции подобия $\varphi(\zeta)$ позволяет с единых позиций описать турбулентные течения в различных температурных стратификациях (безразличная, устойчивая и неустойчивая). В теории подобия функцией $\varphi(\zeta)$ (в зависимости от значения ее аргумента ζ – числа Монина–Обухова) задается тип температурной стратификации турбулентной атмосферы. Теория подобия обычно используется для прогноза характеристик турбулентности при распространении электромагнитных волн в турбулентной атмосфере. Важные характеристики турбулентной атмосферы, такие как C_n^2 (интенсивность турбулентности), внешний L_0 и внутренний l_0 масштабы турбулентности, напрямую определяются через основные характеристики теории подобия Монина–Обухова: турбулентные масштабы полей скорости V^* и температуры T^* и числа Монина–Обухова ζ .

Получены новые 2021 г. результаты измерений для вертикальных производных средней температуры и средней скорости горизонтального ветра. В измерениях в городском приземном слое турбулентной атмосферы существенно расширен диапазон экспериментально наблюдаемых чисел Монина–Обухова $-227 \leq \zeta \leq +72572$ в положительной области, где ранее экспериментальные данные отсутствовали. Это позволило на основе полученных новых необходимых характеристик восстановить эмпирический вид функции $\varphi(\zeta)$ при сверхсильной устойчивой стратификации в интервале $+1 \leq \zeta \leq +72572$. Выполненные в настоящей работе комплексные исследования функции подобия (на основе данных измерений 2021 г.), можно рассматривать как новый значимый результат в теории подобия Монина–Обухова.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (AAAA-A17-117021310146-3).

ВРЕМЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ ФЛУКТУАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ АТМОСФЕРЕ

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

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

Приведены новые результаты измерений масштабов временной корреляции флуктуаций температуры в термически стратифицированной турбулентной атмосфере. Результаты получены в процессе длительных наблюдений в 2019 г. в горных условиях Саянской солнечной обсерватории и в 2021 г. на территории экспериментального комплекса Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск). Для измерений использована мобильная аппаратно-программная ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения характеристик турбулентных метеополей.

Показано, что масштабы временной корреляции флуктуаций приземной температуры минимальны в безразличной стратификации (и не превосходят десятка секунд). При переходе в области сверхсильной неустойчивости и сверхсильной устойчивости в среднем отмечен рост времен корреляции (до 50–60 с). Установлено, что флуктуации температуры минимальны в неустойчивой и безразличной стратификациях (где стандартное отклонение находится в диапазоне $0,1-0,25^\circ$). При переходе в область устойчивой стратификации стандартное отклонение флуктуаций температуры в среднем увеличивается и может достигать одного градуса.

Проведенные измерения показали присутствие в городском приземном атмосферном слое неколмогоровской (когерентной) турбулентности. Полученные результаты подтверждают ранее зарегистрированные нами данные о перемежаемости разных типов турбулентности (колмогоровской и когерентной) в атмосфере. Нами ранее показано, что обедненность когерентной турбулентности мелкомасштабными компонентами приводит к ослаблению флуктуаций распространяющегося оптического излучения. Из-за ослабления флуктуаций качество

получаемых изображений улучшается, а значит, полученные нами результаты могут помочь в оптимизации оптических наблюдений.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (АААА-А17-117021310146-3).

МАСШТАБЫ ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ФЛУКТУАЦИЙ ПРОДОЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В ТЕРМИЧЕСКИ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

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

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

Приведены результаты измерений масштабов временной корреляции флуктуаций продольной скорости ветра в термически стратифицированной турбулентной атмосфере. Данные получены в процессе длительных наблюдений в 2019 г. в горных условиях Саянской солнечной обсерватории и в 2021 г. на территории экспериментального комплекса Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск).

Для измерений использована мобильная аппаратно-программная ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения характеристик турбулентных метеополей.

На практике представляют значительный интерес значения аргумента τ ($\tau = \tau_k$) коэффициента корреляции $b(\tau)$, при котором происходит его существенное убывание. При этом значение τ_k называется масштабом временной корреляции или временем корреляции. Показано, что масштабы временной корреляции флуктуаций приземной продольной скорости ветра минимальны в безразличной стратификации (и не превосходят 15 с). При переходе в области сверхсильной неустойчивости и сверхсильной устойчивости в среднем отмечен рост времен корреляции (до 50–60 с). Установлено, что флуктуации продольной скорости ветра максимальны в безразличной стратификации (где стандартное отклонение находится в диапазоне 0,8–1,7 м/с) и убывают по мере перехода в области неустойчивой и устойчивой стратификаций.

Полученные результаты подтверждают ранее зарегистрированные нами данные о перемежаемости разных типов турбулентности (колмогоровской и когерентной) в атмосфере. Нами ранее показано, что обедненность когерентной турбулентности мелкомасштабными компонентами приводит к ослаблению флуктуаций распространяющегося оптического излучения. Из-за ослабления флуктуаций качество получаемых изображений улучшается, а значит, полученные нами результаты могут помочь в оптимизации оптических наблюдений.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (АААА-А17-117021310146-3).

ТЕРМИЧЕСКИ СТРАТИФИЦИРОВАННАЯ ТУРБУЛЕНТНАЯ АТМОСФЕРА. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

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

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

Приведены экспериментальные результаты для масштабов пространственной корреляции флуктуаций температуры в термически стратифицированной турбулентной атмосфере. Данные получены в процессе длительных наблюдений в 2019 г. в горах Саянской солнечной обсерватории и в 2021 г. на территории экспериментального комплекса Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск).

Для измерений использована мобильная аппаратно-программная ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения характеристик турбулентных метеополей.

Для практических целей значительный интерес представляют значения аргумента r ($r = r_k$) коэффициента корреляции $b(r)$, при котором происходит его существенное убывание. При этом значение r_k называется масштабом пространственной корреляции или радиусом корреляции. Показано, что для умеренных значений числа Монина–Обухова масштабы пространственной корреляции температуры максимальны в безразличной стратификации и могут достигать десятков метров. При переходе к умеренным устойчивой и неустойчивой стратификациям масштабы в среднем постепенно возрастают (от 1–2 до 15–25 м). В области сверхсильной неустойчивости масштабы корреляции в среднем остаются приблизительно постоянными (на уровне 7–15 м). При сверхсильной устойчивости масштабы в среднем постепенно возрастают от 15 до 30 м (минуя скачок в 70 м).

Подтверждаются также зарегистрированные нами ранее данные о перемежаемости разных типов турбулентности (колмогоровской и когерентной) в атмосфере. Нами ранее показано, что обедненность когерентной

турбулентности мелкомасштабными компонентами приводит к ослаблению флуктуаций распространяющегося оптического излучения. Из-за ослабления флуктуаций качество получаемых изображений улучшается, а значит, полученные нами результаты могут помочь в оптимизации оптических наблюдений.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (АААА-А17–117021310146-3).

ВЛИЯНИЕ СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ АТМОСФЕРЫ НА МАСШТАБЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ПРОДОЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА

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

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

Приведены экспериментальные результаты для масштабов пространственной корреляции флуктуаций приземной продольной скорости ветра в термически стратифицированной турбулентной атмосфере. Экспериментальные данные получены в процессе длительных наблюдений в 2019 г. в горах Саянской солнечной обсерватории и в 2021 г. на территории экспериментального комплекса Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск). Для измерений использована мобильная аппаратно-программная ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения характеристик турбулентных метеополей.

Для практических интересов имеют важность значения аргумента r ($r = r_k$) коэффициента корреляции $b_f(r)$, при котором происходит его существенное убывание. При этом значение r_k называется масштабом пространственной корреляции или радиусом корреляции. Показано, что при переходе от неустойчивой к устойчивой стратификации в среднем происходит увеличение масштабов пространственной корреляции флуктуаций продольного ветра в приземной атмосфере (средние масштабы в неустойчивости составляют около 14 м, в нейтральности – около 40 м, а в устойчивости – около 32 м).

Новые данные также подтверждают зарегистрированные нами ранее данные о перемежаемости разных типов турбулентности (колмогоровской и когерентной) в атмосфере. Ранее показано, что обедненность когерентной турбулентности мелкомасштабными компонентами приводит к ослаблению флуктуаций распространяющегося оптического излучения. Из-за ослабления флуктуаций качество получаемых изображений улучшается, а значит, полученные нами результаты могут помочь в оптимизации оптических наблюдений.

Исследования поддержаны проектом П.10.3.5 (АААА-А17–117021310146-3).

ОПТИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРАССАХ В АТМОСФЕРЕ

А.Г. Борзилов, Д.В. Казаков, П.А. Коняев, В.П. Лукин, Е.Л. Соин, А.В. Торгаев

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

Рассмотрены результаты натурных экспериментов в атмосфере с различными измерителями турбулентности атмосферы. В измерениях на горизонтальных трассах различной протяженности были использованы три оптических измерителя и акустическая метеостанция. При проведении измерений в атмосфере макет дифференциального измерителя дрожания изображения DIMM устанавливался на малом астрономическом телескопе Celestron. В качестве второго – использовался дифференциальный измеритель турбулентности (ДИТ), устанавливаемый на телескопе ТАЛ-200К. Третий измеритель – это датчик волнового фронта (ДВФ) Шэка–Гартмана, работающий на базе телескопа Ньютона. Все эти активные оптические измерители используют лазерную подсветку и предназначены для трассовых высокоточных измерений уровня турбулентности. Оперативные вычисления параметра атмосферной турбулентности производятся на основе измерения смещений центров тяжести изображений и вычисления дисперсии разности угловых смещений этих изображений, сформированных с использованием нескольких входных субапертур. Для ДИТ и DIMM используются две субапертуры, а в ДВФ используется матрица субапертур размерностью 20×20 . Определение параметра атмосферной турбулентности из разностного сигнала позволяет исключить влияние инструментальных дрожаний измерителей. По итогам испытаний измерителей была показана высокая корреляция измерений турбулентности, выполненная различными оптическими измерителями и акустической метеостанцией АМК-03. Разработанные и испытанные в атмосфере оптические измерители измеряют наклон волнового фронта с высокой точностью и могут быть рекомендованы для выполнения измерений уровня турбулентности в обсерваториях и лазерных станциях, при испытаниях оптико-электронных систем в атмосфере.

Работа была поддержана ГК «Росатом» в рамках научной программы Национального центра физики и математики.

ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ПОЛИХРОМАТИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ ЗВЕЗД

С.М. Бобровников, Е.В. Горлов, В.И. Жарков

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

Рассмотрено семь вариантов возбуждения атома натрия для возможностей создания полихромной лазерной опорной звезды (ЛОЗ). Показано, что для создания полихромной ЛОЗ в парах натрия при использовании эффекта каскадной флуоресценции при однофотонном возбуждении, наиболее подходящим является переход $4^2P_{3/2} \leftarrow 3^2S_{1/2}$, возбуждаемый на длине волны 330,237 нм. При этом эффективность возбуждения будет на 2 порядка ниже по сравнению с эффективностью создания монохромной ЛОЗ на длине волны 589 нм.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ НА СТАТИСТИКУ ОСОБЫХ ТОЧЕК ВОЛНОВОГО ФРОНТА ИЗЛУЧЕНИЯ

И.Д. Веретехин, Н.А. Макенова, Ф.Ю. Канев

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
answer95@inbox.ru

В численном эксперименте установлена зависимость количества находящихся в волновом фронте особых точек от таких параметров, как интенсивность и внутренний масштаб атмосферной турбулентности, длина трассы распространения пучка и размеры области регистрации дислокаций. Показано, что от указанных параметров зависит точность воспроизведения фазы излучения полиномами Цернике. Определены значения параметров, для которых точность является наиболее высокой.

УПРАВЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИМ ЗАРЯДОМ С ПОМОЩЬЮ ФОРМИРОВАНИЯ СУПЕРПОЗИЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ

В.В. Котляр^{1,2}, А.А. Ковалев^{1,2}

¹ИСОИ РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Самара, Россия

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва, Россия

Найден топологический заряд (ТЗ) четырёх параметрического семейства оптических вихрей, комплексная амплитуда которых является линейной комбинацией в виде геометрической прогрессии из гауссовых оптических вихрей. Прогрессия может быть возрастающей по модулю каждого члена, убывающей или стационарной. Первый член прогрессии имеет вид $a^k \exp[-(r/w)^2 + ikm\phi]$, последний член прогрессии $a^n \exp[-(r/w)^2 + inm\phi]$, знаменатель прогрессии $a \exp(im\phi)$. Параметры семейства оптических вихрей: целые числа (k, n, m) и действительное число a . Если $a < 1$, то прогрессия убывающая и ТЗ суперпозиции равен топологическому заряду первого члена прогрессии ($TC = km, k < n$), так как первый член описывает оптический вихрь с наибольшей мощностью в суперпозиции. Если $a > 1$, то прогрессия возрастающая и ТЗ суперпозиции равен топологическому заряду последнего члена прогрессии ($TC = nm$), так как последний член описывает оптический вихрь с наибольшей мощностью в суперпозиции. И при $a = 1$ прогрессия стационарная, её ОУМ-спектр симметричный и ТЗ суперпозиции равен номеру средней угловой гармоники ($TC = (k + n)m/2$). В последнем случае ТЗ суперпозиции может быть полужелым в начальной плоскости. Но при распространении в свободном пространстве ТЗ стационарной прогрессии оптических вихрей становится целым ($TC = nm$) и сохраняется при распространении.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 22-22-00265).

ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРЕМЕЖАЕМОСТИ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

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

С целью разработки методики оценки типа атмосферной турбулентности проведены исследования возможности обнаружения перемежаемости атмосферной турбулентности разных типов (колмогоровской и когерентной турбулентности) [1] по данным метеорологических измерений. Показано, что используя данные измерений, поступающие в режиме реального времени, можно оценивать тип атмосферной турбулентности с отношением его к колмогоровскому или когерентному.

Для этого проводится спектральный анализ выборки со скользящим временным окном из накапливаемых пакетов данных, поступающих с метеостанции. В качестве критерия смены типа турбулентности используется величина наклона инерционного интервала одномерного временного частотного спектра флуктуаций температуры, который в колмогоровской турбулентности равен « $-5/3$ », в когерентной турбулентности « $-8/3$ ».

Временной шаг сдвига скользящего окна задаёт точность определения момента обнаружения смены типа турбулентности. Ширина окна (длина выборки) определяет диапазон спектра.

Методика позволяет оценивать пространственные размеры областей турбулентности определенного типа на основании информации о скорости ветра и длительности времени регистрации.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики (проект «Расчетно-теоретические и экспериментальные исследования отклонений от колмогоровской модели турбулентности атмосферы в интересах оптимизации оптических наблюдений и требований к разрешению адаптивных оптических систем»).

1. Носов В.В., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Носов Е.В., Торгаев А.В. Перемежаемость колмогоровской и когерентной турбулентности в горном пограничном слое (обзор) // Оптика атмосфер. и океана. 2021. Т. 34, № 9. С. 726–749.

ОБНАРУЖЕНИЕ ПЕРЕМЕЖАЕМОСТИ ТИПА АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

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

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

Используя данные оптических измерений, исследованы возможности обнаружения перемежаемости атмосферной турбулентности колмогоровского и когерентного типов [1] для разработки методики оценки типа атмосферной турбулентности.

Показано, что тип атмосферной турбулентности (колмогоровский или когерентный) можно определять, используя данные оптических измерений, поступающие в режиме реального времени в виде непрерывного электрического сигнала с датчика, регистрирующего случайное смещение изображения некоторого астрономического источника (чаще край солнечного диска).

Изображение оптического источника наблюдается в фокусе приемного телескопа, и измеряется дисперсия дрожания изображения источника σ^2 . Вначале для максимального диаметра входной апертуры астрономического телескопа D_{\max} (который должен быть не менее 80 см) измеряется σ_{\max}^2 . Затем диафрагмой (виньетированием) диаметр уменьшается до 10 см, и производятся непрерывные последовательные измерения σ^2 . Критерием смены типа турбулентности служит отношение σ^2/σ_{\max}^2 , которое в когерентной турбулентности близко к единице (с отклонением не более 10%), а в колмогоровской – значительно больше единицы.

С помощью методики можно оценивать размеры областей турбулентности определенного типа на основании информации о скорости ветра и длительности времени регистрации.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики (проект «Расчетно-теоретические и экспериментальные исследования отклонений от колмогоровской модели турбулентности атмосферы в интересах оптимизации оптических наблюдений и требований к разрешению адаптивных оптических систем»).

1. Носов В.В., Ковадло П.Г., Лукин В.П., Носов Е.В., Торгаев А.В. Перемежаемость колмогоровской и когерентной турбулентности в горном пограничном слое (обзор) // Оптика атмосфер. и океана. 2021. Т. 34, № 9. С. 726–749.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ВЕТРА В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ АТМОСФЕРЕ

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

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

На основе длительных измерений в приземном слое получены зависимости гистограмм распределения значений температуры T и продольной составляющей горизонтальной скорости ветра u от стратификации турбулентной атмосферы. Экспериментальные данные получены в процессе длительных наблюдений в 2019 г. в горных условиях Саянской солнечной обсерватории и в 2021 г. на территории экспериментального комплекса Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (г. Томск). Для измерений использована мобильная аппаратно-

программная ультразвуковая станция АМК-03-4, разработанная для измерения характеристик турбулентных метеополей.

Стратификация атмосферы характеризуется числом Монина–Обухова $\zeta = z/L$ (отношение высоты z к масштабу Монина–Обухова L). Проекция модуля мгновенного случайного вектора горизонтального ветра \mathbf{u} на направление его среднего вектора $\langle \mathbf{u} \rangle$ (продольная составляющая) вычислялась из скалярного произведения среднего и мгновенного векторов $\langle \mathbf{u} \rangle \mathbf{u} = \langle \mathbf{u} \rangle u \cos(\varphi)$ с использованием измеренных мгновенных данных для ветра. Здесь φ – угол между средним и мгновенным векторами. Тогда $u \cos(\varphi)$ – проекция случайного вектора на средний вектор.

Показано, что построенные по данным измерений гистограммы в типичных условиях, реализующихся в приземном слое земной атмосферы ($-10 < \zeta < +5$), в основном соответствуют нормальному (гауссовому) распределению плотности вероятности. В зависимости от стратификации атмосферы (величины ζ) гистограммы могут отклоняться от центра кривой нормального распределения. Полученные гистограммы ближе всего соответствуют нормальному распределению при безразличной стратификации ($-0,05 < \zeta < +0,05$), при этом пик гистограмм обычно острый (положительные эксцессы). Также хорошее совпадение с нормальным распределением в большинстве случаев сохраняется в интервале около $-10 < \zeta < +2$ для температуры T , и в интервале около $-10 < \zeta < +9$ для скорости ветра \mathbf{u} . При значениях $|\zeta|$ вне этих интервалов (больших и экстремально больших $|\zeta|$) в гистограммах появляются значительные коэффициенты асимметрии, характеризующие отклонение от центра нормального распределения, появляется асимметрия на далеких крыльях экспериментальных распределений и отрицательные эксцессы (в то же время пик гистограмм гладкий).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

СТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПУЧКИ СИНТЕЗИРОВАННЫХ МАССИВОМ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ

Е.В. Адамов, В.П. Аксёнов, Е.А. Богач, В.В. Дудоров, В.В. Колосов, М.Е. Левицкий

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

Мы представляем совокупность методов управления пространственной и поляризационной структурой синтезированного пучка разработанных нашей группой [1–3]. Методы основаны на управлении фазой элементов массива когерентных излучателей с заданным распределением направлений линейной поляризации.

Управление фазой производится на основе известного метода SPGD с помощью интегральных электрооптических модуляторов фазы. Синхронизация фаз в каналах излучения обеспечивается двумя способами за счет достижения максимума интенсивности в контуре обратной связи (ОС). В-первом случае используется периодический процесс последовательной синхронизации фаз в плоскости приема и модуляции фаз в начальной плоскости излучения для формирования пучков с ОУМ. Данный подход позволяет осуществить высокоскоростную модуляцию фаз, обеспечиваемую электрооптическими модуляторами света (до 40 ГГц), для задач передачи информации посредством ОУМ в условиях атмосферной турбулентности. Второй подход основан на размещении управляемого фазового корректора (DMD, SLM) в контуре ОС, что позволяет управлять распределением интенсивности в дальнем оптическом поле. При этом в случае однонаправленных линейных поляризаций субпучков формируются скалярные синтезированные пучки (в том числе и вихревые) с управляемым распределением интенсивности.

Задание не однонаправленных азимутов линейной поляризации субпучков позволяет формировать пучки с неоднородными распределениями интенсивности и поляризации (структурированные пучки) [2]. Приводятся результаты решения обратной задачи, обеспечивающие с высокой точностью заданные распределения интенсивности и поляризации при управлении фазой, поляризацией и амплитудой субпучков.

1. Aksenov V.P., Dudorov V.V., Kolosov V.V., Levitsky M.E. Synthesized vortex beams in the turbulent atmosphere // *Frontiers in Physics*. 2020. V. 8. Frontiers Media S.A. DOI: 10.3389/fphy.2020.00143.
2. Adamov E.V., Aksenov V.P., Dudorov V.V., Kolosov V.V., Levitskii M.E. Controlling the spatial structure of vector beams synthesized by a fiber laser array // *Opt. Laser Tech.* 2022. V. 154. 108351. DOI: 10.1016/j.optlastec.2022.108351.
3. Adamov E., Aksenov V., Atuchin V., Dudorov V., Kolosov V., Levitsky M. Laser beam shaping based on amplitude-phase control of fiber laser array // *OSA Continuum*. 2020. V. 4(1). P. 182–192. DOI: 10.1364/osac.413956.

СТРУКТУРИРОВАННЫЕ ПУЧКИ ЛАГЕРРА–ГАУССА И УПРАВЛЕНИЕ ОРБИТАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ МОМЕНТОМ С ПОМОЩЬЮ РАДИАЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

Я.Е. Акимова, М.В. Брецько, А.В. Воляр

*КФУ им. В.И. Вернадского, Физико-технический институт, Республика Крым, г. Симферополь, Россия
AkImova.yana@yandex.ru*

В работе экспериментально исследуется суперпозиция пучка Лагерра–Гаусса и пучка Эрмита–Лагерра–Гаусса с весовым комплексным коэффициентом [1]. Причем аргумент комплексного коэффициента также входит, как угол поворота в аргумент пучка Эрмита–Лагерра–Гаусса. Изменяя амплитуду весового коэффициента, изменяется вклад пучка Эрмита–Лагерра–Гаусса в суперпозицию, а изменяя фазу весового коэффициента изменяется сам пучок Эрмита–Лагерра–Гаусса. Выявлено, что такое изменение амплитуды весового коэффициента пучка приводит к возможности управления орбитальным угловым моментом с помощью радиальных чисел [2]. Ненулевые радиальные числа приводят к быстрым осцилляциям орбитального углового момента при изменении фазового параметра, а осцилляции исчезают, если радиальное число равно нулю. Мы также показали, что изменение фазового параметра в широком диапазоне значений не меняет модуль полного топологического заряда структурированного пучка, несмотря на быстрые колебания орбитального углового момента.

1. Volyar A., Abramochkin E., Akimova Ya., Bretsko M. // Opt. Lett. 2022. V. 47. P. 2402–2405.

2. Volyar A., Abramochkin E., Akimova Ya., Bretsko M., Egorov Yu. // Appl. Opt. 2022. V. 61. P. 6398–6407.

ИНВАРИАНТЫ СТРУКТУРИРОВАННЫХ LG-ПУЧКОВ И РЕЗКИЕ ВСПЛЕСКИ ОУМ ПРИ ПРОСТОМ АСТИГМАТИЗМЕ

А.В. Воляр¹, Е.Г. Абрамочкин², Я.Е. Акимова¹, М.В. Брецько¹, Ю.А. Егоров¹

¹*КФУ им. В.И. Вернадского, Физико-технический институт, Республика Крым, г. Симферополь, Россия*

²*Самарский филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (СФ ФИАН), Россия
volyar.singular.optics@gmail.com*

Структурированный пучок Лагерра–Гаусса, как суперпозиция мод Эрмита–Гаусса со строго согласованными амплитудами и фазами, обладает рядом уникальных способностей, таких как управление осцилляциями орбитального углового момента посредством радиального числа пучка [1, 2]. Мы обнаружили, что такой структурированный пучок имеет множество инвариантов относительно астигматических преобразований, не зависящих от исходных радиальных и азимутальных чисел. Однако реакцией волновой системы на жесткие условия астигматической инвариантности являются жесткие всплески и провалы орбитального углового момента, амплитуда которых зависит от радиального числа и многократно превосходит амплитуды осцилляций орбитального углового момента пучков, свободных от астигматизма.

1. Volyar A., Abramochkin E., Akimova Ya., Bretsko M. // Opt. Lett. 2022. V. 47. P. 2402–2405.

2. Volyar A., Abramochkin E., Akimova Ya., Bretsko M., Egorov Yu. // Appl. Opt. 2022. V. 61. P. 6398–6407.

АДАПТИВНАЯ ФАЗОВАЯ КОРРЕКЦИЯ ВИХРЕВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

П.А. Коняев, В.П. Лукин, В.А. Сенников

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

Методом компьютерного моделирования изучается теоретическая возможность коррекции амплитудно-фазовых искажений лазерных пучков Лагерра–Гаусса (ЛГ-пучков) на атмосферных трассах. Используется схема динамической адаптивной коррекции по принципу фазового сопряжения опорной волны от вспомогательного когерентного источника. Путём численного решения неоднородного параболического волнового уравнения моделируется распространение пучков в случайно-неоднородной среде со степенным пространственным спектром, характерным для атмосферной турбулентности. Скалярное волновое уравнение решается методом расщепления – преобразования Фурье с использованием алгоритмов параллельной архитектуры. Рассмотрено влияние турбулентности атмосферы на флуктуации орбитального углового момента (ОУМ) вихревых ЛГ-пучков, теоретически показана возможность и оценена эффективность коррекции этих флуктуаций с помощью адаптивной оптической системы фазового сопряжения опорной волны.

В статье отмечается роль академика Н.Г. Басова по организации систематических исследований распространения когерентных оптических волн в атмосфере, как случайно-неоднородной среде.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОЗ В РОССИЙСКИХ ОБСЕРВАТОРИЯХ

Л.А. Больбасова, С.А. Ермаков

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

Для работы адаптивной оптической (АО) системы с лазерной опорной звездой (ЛОЗ) телескопа в первую очередь необходимо обеспечить достаточный для измерения волнового фронта обратный поток фотонов. Яркость натриевых ЛОЗ связана с характеристиками натриевого слоя мезосфере Земли (высота и плотность), пропусканием атмосферы, размером пятна ЛОЗ в мезосфере, а также величиной геомагнитного поля Земли при формировании ЛОЗ лазерным излучением с круговой поляризацией, что в свою очередь позволяет увеличить обратный поток. Турбулентность атмосферы определяет не только размер пятна ЛОЗ в мезосфере, но требования к элементам АО системы с ЛОЗ. В результате такие факторы, как время года, широта и долгота, высота местоположения телескопа влияют на эффективность формирования натриевой ЛОЗ.

В докладе обсуждаются указанные выше характеристики для обсерваторий РФ в сравнении с зарубежными обсерваториями, где АО с ЛОЗ работают на постоянной основе. Сделаны предварительные оценки с учетом перечисленных факторов для российских обсерваторий.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ФЛУКТУАЦИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ СЛОЕВ: ИЗМЕРЕНИЯ ЦЕНТРОВ ТЯЖЕСТИ СОЛНЕЧНЫХ СУБИЗОБРАЖЕНИЙ

А.Ю. Шиховцев¹, П.Г. Ковадло¹, А.В. Киселёв¹, В.П. Лукин²

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск, Россия*
²*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия
Ashikhovtsev@isf.irk.ru*

Работа представляет результаты исследований оптических искажений в скрещенных оптических пучках. Рассматриваются подходы к оценке размерных характеристик интенсивности оптической турбулентности на разных высотах в атмосфере по данным измерений смещений центров тяжести солнечных субизображений.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-444.2021.4

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРОДОВ МОНОМОРФНЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ЗЕРКАЛ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ ОПТИКИ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.А. Ягнятинский, В.Н. Федосеев

*Акционерное общество «Научно-исследовательский институт
Научно-производственное объединение «ЛУЧ», г. Подольск, Московская обл., Россия
yagnyatinskiyda@sialuch.ru*

За последние 20 лет мономорфные деформируемые зеркала (ДЗ) получили достаточно широкое распространение в качестве корректирующего элемента в адаптивных оптических системах. Такие зеркала можно отнести к подклассу зеркал, работающих на основе обратного поперечного пьезоэффекта – биморфных деформируемых зеркал [0]. Основными преимуществами мономорфных зеркал являются: рекордно высокий прогиб оптической поверхности при данном диаметре апертуры, почти полное отсутствие эффекта печати лунок от приводов (электродов), невысокая себестоимость и сравнительно несложная технология изготовления.

В зависимости от аберраций, которые нужно измерять или корректировать в конкретной задаче, требуется выбирать более оптимальную схему для управляющих электродов. Моделирование их прогиба (расчет функций влияния электродов) целесообразно производить с использованием метода конечных элементов. В данной работе таким методом выполнен расчет более оптимальной схемы для мономорфного зеркала с двумя различными материалами у подложки, выбранным одним пьезоматериалом и с выбранными один раз диаметрами подложки и пьезодиска. Их толщины выбирались также исходя из соображений оптимальности и реалистичности при имеющихся технологических возможностях. В постановке задачи, для двух значений диаметров световой

зоны, зеркалу требовалось отрабатывать полиномы Цернике до 4-го порядка включительно, с остаточным среднеквадратичным отклонением (СКО) не менее чем в 10 раз ниже.

1. *Ellis E.M. Low-cost Bimorph Adaptive Mirrors // Ph.D. dissertation. Imperial College of Science, Technology and Medicine. University of London, 1999. 170 p.*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНОСТАТИЧЕСКОЙ И БИСТАТИЧЕСКОЙ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОЗ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ТЕОРИИ ГАУССОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

В.В. Клеймёнов, И.Ю. Возмищев, Е.В. Новикова

*Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия
vka@mil.ru*

Для компенсации искажений, вносимых атмосферой, неотъемлемым элементом астрономических телескопов являются адаптивные оптические системы (АОС). В случае наблюдения звезды слабой яркости принимаемого от неё излучения может быть недостаточно для обеспечения эффективной работы АОС на фоне внутренних и внешних (атмосферных) шумов. В связи с этим в последние годы в зарубежных крупноапертурных оптико-электронных системах широкое применение нашли лазерные опорные звезды (ЛОЗ), формируемые в поле зрения АОС с помощью источника лазерного излучения. Для формирования ЛОЗ и приема рассеянного от нее излучения применяют моностатическую и различные гибридные бистатические схемы. В фокальной плоскости наземного телескопа из-за влияния атмосферных возмущений наблюдаются дрожания изображений естественной звезды и ЛОЗ, характеризуемые случайными линейными смещениями энергетических центров тяжести (интенсивности), которые, как и угловые отклонения лазерного пучка, предполагаются гауссовскими случайными величинами.

Выражения для дисперсий дрожания лазерного пучка, изображений естественной и лазерной звезд записаны через радиусы пространственной когерентности атмосферы (радиусы Фрида). Рассчитываемое положение естественной звезды в фокальной плоскости телескопа относительно измеренного мгновенного положения лазерной опорной звезды строится на основе линейной регрессии Пирсона. Нормированное значение дисперсии

нескомпенсированных (остаточных) угловых ошибок смещения естественной звезды $C_n = \frac{\langle \beta_{\phi_{\min}}^2 \rangle}{\langle \phi_{pl}^2 \rangle} = [1 - r_{pl}^2]$ опре-

ределяется на основе нахождения коэффициента взаимной корреляции случайных угловых смещений изображений естественной звезды и ЛОЗ $r_{pl, m}$. Приводятся результаты расчётов C_n для моностатической и бистатической схем формирования ЛОЗ, позволяющие оценить и сравнить их эффективность.

Авторский указатель

А		Ботыгин И.А.	46	Дорошкевич А.А.	71
Абрамочкин Е.Г.	96	Брецько М.В.	96	Дубцов С.Н.	22
Агафонцев М.В.	84, 87	Бунтов Д.В.	31, 32	Дудоров В.В.	95
Агеев Б.Г.	20	Буряк Г.А.	17, 50, 59, 66	Дульцева Г.Г.	22, 23
Адамов Е.В.	95	Бучельников В.С.	16, 72	Дюкарев Е.А.	16
Адильбаева Т.Е.	62	В			
Акентьева М.С.	37	Васильева Д.Е.	60, 65	Е	
Акимова Я.Е.	96	Васильева М.С.	33	Егоров Ю.А.	96
Аксёнов В.П.	95	Веретенников В.В.	6	Елисеев А.В.	49
Александров А.Б.	89	Веретехин И.Д.	93	Ермаков С.А.	97
Алексеева М.Н.	20	Виноградова А.А.	3, 78	Ж	
Альперина Н.А.	73	Власов Д.В.	62	Жарков В.И.	93
Андреева И.С.	17, 50, 59	Возмищев И.Ю.	98	Жданова Е.Ю.	63
Андрикович А.А.	71	Володин Е.М.	55	Жираковская Е.В.	59
Антонникова А.А.	33	Воляр А.В.	96	Журавлёва Т.Б.	52, 56
Антонов А.В.	4, 5, 8	Воробьёв Д.С.	23		
Антохин П.Н.	24, 28	Воробьёв С.Н.	23	З	
Антохина О.Ю.	24	Воронин Б.А.	38, 67	Завгородняя Ю.А.	61
Апексимов Д.В.	40, 41	Вострецов Н.А.	82, 84	Зайцев Н.Г.	69
Архипов В.А.	29, 30	Вяткина В.А.	28	Зенкова П.Н.	5, 6, 7, 8, 56
Аршинов М.Ю.	8, 9, 16, 24, 28, 72	Г		Золотов Д.В.	63
Аршинова В.Г.	24	Габышев Д.Н.	34	Золоторёв Н.Н.	30
Астахова Е.М.	17, 18	Гадельшин В.М.	60, 65, 68, 69	Зуева Г.А.	18
Афанасьев А.Л.	83, 86	Генералов В.М.	66	И	
Б		Герасимова Л.О.	84, 66	Иванова Ю.И.	78
Бабушкин П.А.	67	Гизатуллин Р.Д.	49	Ивлев Г.А.	16, 24, 28, 49, 72
Бакиров В.А.	19	Гладких В.А.	39	Иорданский М.А.	3, 4
Балин Ю.С.	10, 74, 75	Глухов А.В.	66	Ишматов А.Н.	30, 31, 59
Банах В.А.	82, 83, 85, 86	Голобокова Л.П.	15, 16, 27, 28	Й	
Барановский Н.В.	28	Головко В.В.	18, 21	Йебоах Ю.	13
Барт А.А.	59	Головушкин Н.А.	5, 37, 51, 52, 56		
Басалаев С.А.	29, 30	Гордеев Е.В.	87	К	
Белан Б.Д.	8, 9, 16, 17, 24, 28, 49, 72	Горлов Е.В.	93	Кабанов Д.М.	15, 77, 78, 79, 80
Белан С.Б.	16, 24, 28, 71	Горчаков Г.И.	3, 31, 32, 51, 52	Кабилев М.Р.	17, 50
Беликов И.Б.	4	Горчакова И.А.	32	Каблукова Е.Г.	39
Белоногов С.А.	40, 41	Горячев Б.В.	54, 55	Казаков Д.В.	92
Белуосов В.А.	4	Гочаков А.В.	44	Калашникова Д.А.	79
Беляева И.В.	13, 25, 26	Грабежова В.К.	66	Камардин А.П.	39
Береснев С.А.	33	Груздев А.Н.	20	Кан Н.В.	11, 12
Бирюков Р.Ю.	63	Губанова Д.П.	3, 4	Канев Ф.Ю.	93
Битюкова В.Р.	62	Гуляев Е.А.	65, 68	Каратаева Е.А.	43
Блинов Д.В.	55	Гусев А.О.	68	Каргаполова Н.А.	37
Бобровников С.М.	93	Гущин Р.А.	3, 31, 32, 51, 52	Каргин Б.А.	39
Богач Е.А.	95	Д		Карпов А.В.	3, 31, 32, 51, 52
Больбасова Л.А.	88, 89, 97	Давыдов Д.К.	9, 16, 24, 28	Карташов М.Ю.	17
Большаков А.А.	73	Дарьин Ф.А.	26	Касимов Н.С.	54, 61, 62, 64
Борзилов А.Г.	92	Даценко О.И.	3, 31, 32, 51, 52	Касымов Д.П.	87
Борисов Д.В.	35, 39	Дель И.В.	43	Киприянов А.А.	46
Борков Ю.Г.	36	Долгий С.И.	70		
Боровой А.Г.	10, 11, 12, 76				

Кирина В.Д.	64	Лукин И.П.	81	Ошлаков В.К.	67
Киселёв А.В.	97	Луцкий Е.С.	19		
Киселёва Т.И.	18	Лютоев В.П.	72		
Клеймёнов В.В.	98			П	
Клемашева М.Г.	75	М		Павленко А.А.	70
Климкин А.В.	67, 74	Макаров В.И.	50, 80	Панченко М.В.	4, 6, 7, 8, 21
Кобелев В.О.	54	Макеев А.П.	69, 70, 71	Пашнев В.В.	70
Кобзев А.А.	14	Макенова Н.А.	93	Пененко А.В.	44, 45
Кобзева Т.В.	22	Малахова В.В.	35	Пененко В.В.	44, 45
Ковадло П.Г.	7, 89, 97	Мальгина Н.С.	63	Пеннер И.Э.	74, 75
Ковалев А.А.	93	Мальшев Б.С.	17	Перемитина Т.О.	22
Ковач Р.Г.	62, 64	Мамышева А.А.	38	Перфильева К.Г.	29, 30
Козлов А.В.	9, 16, 24, 28, 49	Маракасов Д.А.	83, 86	Першин Д.К.	63
Козлов А.С.	16, 21	Маркелов Ю.И.	60, 65	Плотников А.А.	16
Козлов В.С.	6	Маслов А.А.	17	Плохотниченко М.Е.	22
Козюлин Н.Н.	46	Маслова М.В.	41	Поддубный В.А.	60, 65
Колмаков А.А.	40, 41	<u>Матвиенко Г.Г.</u>	67	Покровский О.С.	23
Колосов В.В.	95	Матющенко Ю.Я.	70	Полькин В.В.	7, 8, 15, 80
Колтовской И.И.	53	Митрофанова Е.Ю.	63	Полькин Вас.В.	5, 6, 9
Коновалов И.Б.	5, 6, 7, 37, 51, 52, 56	Михайленко С.Н.	38	Полюхов А.А.	55, 63
Коношонкин А.В.	10, 11, 12, 76	Михайленко В.И.	72	Пономарев Ю.Н.	67, 68
Конюхов И.Е.	70	Михайлюта С.В.	23	Пономарева Т.Я.	32, 51
Коняев П.А.	92, 96	Моложникова Е.В.	9, 61	Попова С.А.	5, 26, 50
Копейкин В.М.	3, 31, 32, 51, 52, 79	Мордовской П.Г.	53	Поповичева О.Б.	21, 54, 61, 62, 64
Коробов О.А.	89	Морозов В.В.	59	Почуфаров А.О.	26, 79, 80
Корчагин Г.Е.	41	Мошкин А.Д.	17	Праслова О.В.	28
Котляр В.В.	93	Н		Пригарин С.М.	34
Коханенко Г.П.	10, 74, 75	<u>Нагорский П.М.</u>	24	Пустовалов К.Н.	24
Кочнева Л.Б.	33	<u>Надеев А.И.</u>	69	Пучкова Л.И.	59
Кошелева Н.Е.	62, 64	Насонов С.В.	74	Пьянова Э.А.	35, 44, 45
Кравчишина М.Д.	77	Насонов С.И.	75	Р	
Крицков И.В.	23	Насртдинов И.М.	52, 56	Радионов В.Ф.	15, 78, 80
Круглинский И.А.	8, 26, 27, 77, 79	Нахаев М.И.	35, 37, 39, 52	Разенков И.А.	84
Крылова А.И.	38	Невзоров А.А.	69	Рапута В.Ф.	60
Кузнецова И.Н.	35, 37, 39, 52	Невзоров А.В.	69, 70, 71	Расказчикова Т.М.	24, 28
Курбацкая Л.И.	42	Невзорова И.В.	38, 39	Ребус М.Е.	50
Куряк А.Н.	67	Неустроев А.А.	53	Резникова И.К.	17, 50, 59
Курятникова Н.А.	63	Нецветаева О.Г.	61	Рейно В.В.	84, 87
Кусков В.В.	83	Никифорова О.Ю.	68	Ривин Г.С.	55
Кустова Н.В.	10, 11, 12, 76	Новигатский А.Н.	23, 79	Ризе Д.Д.	80
Кутищев А.С.	15	Новиков С.А.	58	Родина К.В.	63
		Новикова Е.В.	98	Ромашенко В.А.	5, 6
		Новосёлов М.М.	75	Ростов А.П.	81, 83, 86
		Носов В.В.	88, 90, 91, 92, 93, 94	Русин Е.В.	44, 45
Л		Носов Е.В.	90, 91, 92, 93, 94	Русских И.В.	20
Лавриненко А.В.	48, 49	О		Русскова Т.В.	66
Лаптева Н.А.	17, 36, 38	Оболкин В.А.	9	Рычков Д.С.	85
Левицкий М.Е.	95	Оглезнева М.В.	24	Рябинин А.А.	75
Леженин А.А.	23, 60, 89	Огородников В.А.	37	С	
Лезина Е.А.	63	Одинцов С.Л.	38, 39	Савкин Д.Е.	24
Ли Ш.	34	Олькин С.Е.	17, 50, 59	Савчук Д.А.	20
Лим А.Г.	23	Онищук Н.А.	16, 26, 61	Сакерин С.М.	15, 27, 77, 78, 79, 80
Лобода Е.Л.	87	Осипов К.Ю.	15, 58, 74	Сальников К.С.	12
Лобода Ю.А.	87	Осипова Н.А.	15, 58	Самойлова С.В.	74
Ломакина Н.Я.	48, 49	Отмахов В.И.	28	Сапожникова В.А.	20
Лоскутова М.А.	80	Охлопкова О.В.	17, 18, 59	Сат А.А.	24
Лукин В.П.	88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97				

Авторский указатель

Сафатов А.С.	17, 18, 36, 50, 59, 66	Турчинович Ю.С.	79, 80	Шерстнёв В.С.	46
Семёнова А.В.	61, 64	У		Шерстнёва А.И.	46
Семутникова Е.Г.	51	Убоженко М.Ю.	33	Шерстобитов А.М.	82, 85
Сенников В.А.	96	Ужегов В.Н.	5, 6, 7, 21, 52, 56	Шерстобитов М.В.	86
Сердюков В.И.	36	Усанина А.С.	29, 30	Шестернин А.Н.	84
Сзакалл М.	34	Ф		Шиховцев А.Ю.	7, 9, 19, 27, 61, 89, 97
Сидорова О.Р.	15, 78, 80	Фалиц А.В.	85, 86	Шишигин С.А.	65
Симоненков Д.В.	16, 24, 28, 71, 72	Федорец А.А.	34	Шишкин Е.	5
Симонова Г.В.	79	Фёдоров Д.В.	20	Шишко В.А.	10, 11, 12, 76
Синица Л.Н.	36	Фёдорова А.А.	80	Шмаргунов В.П.	5, 6, 7, 8, 21
Скибина Н.П.	29	Федосеев В.Н.	97	Шукуров К.А.	71, 72
Скляднева Т.К.	24, 49	Фирсов К.М.	43	Щ	
Скорик В.С.	44	Фофанов А.В.	9, 16, 24, 28, 72	Щелканов А.А.	60, 65
Скороход А.И.	4	Х		Ю	
Смалихо И.Н.	82, 85	Хайкин В.Б.	7	Юдин М.С.	44
Смирнов С.В.	13, 24, 26	Ходжер Т.В.	9, 16, 27, 61	Я	
Смолева И.В.	72	Хозяинова Д.А.	64	Ягнятинский Д.А.	97
Соин Е.Л.	92	Хуриганова О.И.	15, 19, 26, 27	Язиков Е.Г.	15, 58, 62
Соловьёв В.С.	53	Хуторов В.Е.	41	Яковлев С.В.	59
Соловьянова Н.А.	17, 50, 59	Хуторова О.Г.	41	Яковлев Г.А.	13, 14, 25, 26
Сороколетов Д.С.	26	Ц		Яковлева В.С.	13, 14
Стародубцев В.С.	53	Цветова Е.А.	42, 44, 45	Якубайлик О.Э.	48
Стародымова Д.П.	23	Цвык Р.Ш.	84	Яушева Е.П.	5, 6
Старостин Е.В.	53	Ч		Ященко И.Г.	20, 22
Старченко А.В.	43	Ченцов А.В.	38	С	
Стребкова Е.А.	59	Черемискина А.А.	66	Czech H.	21, 54
Стюф А.С.	66	Чернов Д.Г.	6, 7, 8, 21, 78, 80	D	
Сулакшина О.Н.	36	Черных Д.В.	63	Diapouli E.	62
Сухарев А.А.	83, 85	Чеснокова Т.Ю.	38, 43	E	
Т		Чжан Шо	74	Eleftheriadis K.	62
Таловская А.В.	15, 58, 62, 64	Чжэн П.	39	Evangelidou N.	54
Тартаковский В.А.	46	Чичаева М.А.	54, 61, 62, 64	R	
Тентюков М.П.	72	Чубаров Д.Л.	46	Rüger C.P.	54
Терновой В.А.	17	Чубарова Н.Е.	55, 63	S	
Терпугова С.А.	4, 7, 8	Ш		Schneider E.	54
Тимофеев Д.Н.	10, 11, 12, 76	Шалыгина И.Ю.	63	Z	
Титов А.Г.	74	Шапарев Н.Я.	48	Zimmermann R.	21, 54
Титов С.С.	70	Шатунова М.В.	55		
Ткачев И.В.	11, 12, 76	Швалов А.Н.	17, 18		
Ткачева Ю.В.	35	Шевченко В.П.	23, 79, 80		
Токарев А.В.	48	Шельмина Е.А.	43		
Толмачёв Г.Н.	16, 24, 28				
Томшин О.А.	53				
Торгаев А.В.	90, 91, 92, 93, 94				
Трегубчак Т.В.	17, 18				

XXIX Конференция
АЭРОЗОЛИ СИБИРИ

Тезисы докладов

Подписано к печати 14.11.2022 г.
Формат 60×84/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 11,86. Уч.-изд. л. 12,87.
Выход в свет 21.11.2022 г. Тираж 150 экз. Заказ № 27.

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