

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ ИМ. А.М. ОБУХОВА РАН



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Международная конференция, посвященная 70-летию
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН**

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА

06 – 09 апреля 2026 года

Сборник тезисов



 **ЛАБ**
Инструменты

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ ИМ. А.М. ОБУХОВА РАН

**Международная конференция, посвященная 70-летию
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН**

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА

06 – 09 апреля 2026 года
Сборник тезисов

**The International Conference dedicated to the anniversary of
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS**

ATMOSPHERIC AND CLIMATE PHYSICS

**06-09 April 2026
Abstracts**

МОСКВА
ФИЗМАТКНИГА
2026

ББК 26.23
Т 864
УДК 551.5

Редколлегия:

И.А. Репина, В.А. Семенов, А.В. Чернокульский, В.А. Фалалеева, Ю.В. Киселева

Международная конференция, посвященная 70-летию Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН «ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА». 06–09 апреля 2026 года. Сборник тезисов докладов. М.: Физматкнига, 2026 - 146 с.

ISBN 978-5-89155-460-3

The International Conference dedicated to the anniversary of A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS “ATMOSPHERIC AND CLIMATE PHYSICS” 06–09 April 2026. Book of Abstracts. Moscow. Fizmatkniga Publisher, 2026. 146 p.

Научное издание

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА

Международная конференция, посвященная 70-летию
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

06–09 апреля 2026 года

Сборник тезисов

Подписано в печать _____.

Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,0. Уч.-изд.л. 13,0.

Тираж 200 экз.

Программный комитет

Голицын Г.С., сопредседатель (академик РАН, научный руководитель ИФА РАН)
Семенов В.А., сопредседатель (академик РАН, директор ИФА РАН)
Куличков С.Н. (д.ф.-м.н., руководитель научного направления ИФА РАН)
Алдошин С. М. (академик РАН, вице-президент РАН)
Бортников Н.С. (академик РАН, академик-секретарь ОНЗ РАН)
Матишов Г.Г. (академик РАН, заместитель президента РАН)
Jiang Dabang (профессор, директор ИФА КАН)
Бондур В.Г. (академик РАН, директор НИИ «Аэрокосмос»)
Гвишиани А.Д. (академик РАН, научный руководитель Геофизического центра РАН)
Глико А.О. (академик РАН, ИФЗ РАН)
Гулев С.К. (академик РАН, ИО РАН)
Дымников В.П. (академик РАН, ИВМ РАН)
Жеребцов Г.А. (академик РАН, научный руководитель ИСЗФ СО РАН)
Зеленый Л.М. (академик РАН, научный руководитель ИКИ РАН)
Касимов Н.С. (академик РАН, президент Географического факультета МГУ)
Мареев Е.А. (академик РАН, ИПФ РАН)
Семенов С.М. (чл.-корр. РАН, ИГКЭ)
Пташник И.В. (чл.-корр. РАН, директор ИОА СО РАН)
Соломина О.Н. (чл.-корр. РАН, директор ИГРАН)
Жмур В.В. (чл.-корр. РАН, зав. кафедрой МФТИ)
Макоско А. А. (чл.-корр. РАН, заместитель президента РАН)
Ефименко Н.В. (руководитель Пятигорского государственного научно-исследовательского института курортологии ФМБА России)
Корягина Ю.В. (д.б.н., руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России)
Асмус В.В. (д.т.н., научный руководитель ФГБУ “НИЦ “Планета”)
Грицун А.С. (д.ф.-м.н., ИВМ РАН)
Катцов В.М. (д.ф.-м.н., директор ГГО)
Вильфанд Р.М. (д.т.н., научный руководитель Гидрометцентра России)
Лапшин В.Б. (д.ф.-м.н., зав. кафедры МГУ)
Сократова И.Н. (к.г.н., начальник ОНЗ РАН)
Кириллова Е.Э. (к. г. н., ОНЗ РАН)
Романова О.С. (к. г. н., ОНЗ РАН)

Организационный комитет

Семенов В.А., председатель, академик РАН, директор ИФА РАН
Репина И.А., зам. председателя, д.ф.-м.н., профессор РАН, зам. директора ИФА РАН
Куличков С.Н., д.ф.-м.н., руководитель научного направления ИФА РАН
Чернокульский А.В., к.ф.-м.н., зам. директора ИФА РАН
Чхетиани О.Г., д.ф.-м.н., зам. директора ИФА РАН
Арабов К.А., начальник Кисловодской высокогорной научной станции
Гинзбург А.С., д.ф.-м.н, зав. лабораторией
Киселева Ю.В., к.ф.-м.н., ученый секретарь ИФА РАН
Фалалеева В.А., младший научный сотрудник
Вазаева Н.В., к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, председатель СМУ ИФА РАН
Артамонов А.Ю., научный сотрудник
Марчук Е.А., младший научный сотрудник
Нарижная А.И., младший научный сотрудник

Учредители конференции

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Отделение наук о Земле РАН
Министерство науки и высшего образования РФ
Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии ФГБУ СКФНКИ
ФМБА России

Конференция проводится при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ

Партнеры конференции: Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ



ЛАБ
Инструменты

Корреляционно-спектральные модели турбулентных флуктуаций атмосферного электрического поля по результатам натурных наблюдений и вихреразрешающего моделирования

Анисимов С.В., Галиченко С.В., Прохорчук А.А., Климанова Е.В.

Геофизическая обсерватория "Борок" ИФЗ РАН, Борок, Россия

svga@borok.yar.ru

Ключевые слова: атмосферное электрическое поле, корреляционные функции, спектральная плотность флуктуаций, вихреразрешающее моделирование

Механизмы генерации турбулентных флуктуаций электрического поля и плотности электрического тока в нижней атмосфере связывают с формированием структур объёмного заряда, их адвекцией, омической и диффузионной диссипацией. При проведении синхронных разнесённых натурных наблюдений вариаций атмосферного электрического поля в 2023-2025 гг. применялась расстановка датчиков в соответствии с делениями шкалы линейки Голомба различной длины [1]. Комбинаторный принцип, положенный в основу такой расстановки, гарантирует максимальное количество различных попарных расстояний между датчиками при заданном их количестве, что позволяет выполнить оценку вклада источников variability различных масштабов, статистической связности между локациями, фазовых соотношений и задержки, характеризуя признаки распространения возмущений, когерентности и общего драйвера вследствие региональной/глобальной модуляции. Проанализированы различные модели совместных аппроксимаций автокорреляционных функций и спектральной плотности, которые характеризуются степенным поведением в нескольких декадах частотной шкалы, конечной энергией флуктуаций и насыщением спектра мощности при низких частотах в отличие от чисто степенной модели. Показано, что турбулентные флуктуации атмосферного электрического поля на сегментах временных рядов с низким уровнем гетероскедастичности аппроксимируются линейными комбинациями хвостовых функций гамма-распределения. Выполнены корреляционно-спектральные оценки мгновенных распределений и временных рядов флуктуаций приземного электрического поля, рассчитанного в вихреразрешающей модели нейтрально стратифицированного атмосферного пограничного слоя, оснащённой блоком динамики лёгких атмосферных ионов и пуассоновским решателем трёхмерной задачи потенциала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-00053-П).

Литература:

1. Anisimov S.V., Galichenko S.V., Prokhorchuk A.A., Klimanova E.V., Kozmina A.S., Aphinogenov K.V. Estimation of autocorrelation functions of atmospheric electric field variations using a Golomb array of sensors // Atmospheric Research. 2025. V. 315. 107847. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107847>.

Горно-долинная циркуляция на ВНС ИФА РАН

Артамонов А.Ю.¹, Тельминов А.Е.², Пашкин А.Д.¹

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

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
sailer@ifaran.ru

Ключевые слова: горно-долинная циркуляция, Кисловодск

С конца 2024 г. на ВНС ИФА РАН в г. Кисловодск проводятся инструментальные наблюдения потоков тепла и импульса и основных метеопараметров (скорость и направление ветра, температура и влажность воздуха, атмосферное давление) Кроме того на станции в городе установлен температурный профилемер МТП-5, позволяющий фиксировать события температурных инверсий – одного из важных факторов роста уровня загрязнения атмосферы. Накопленный массив уникальных данных позволяет использовать их для исследования особенностей суточного хода, межсуточной изменчивости, влияния неблагоприятных метеорологических условий на город курорт Кисловодск. Вторая, идентичная станция, расположена на Высокогорной научной станции ИФА им. А.М. Обухова РАН (ВНС) ИФА РАН, на плато Шаджатмаз на высоте 2070 метров над уровнем моря, недалеко от Кисловодска.

В данной работе приведены результаты сравнения данных с этих метеостанций. Горно-долинная циркуляция служит фактором регулярной сменены воздуха и репрезентативным индикатором общего уровня антропогенного загрязнения. Это позволяет оценить чистоту атмосферы в выбранном регионе. Также использовались данные измерений вертикальных профилей температуры воздуха в нижних 1000 м атмосферы, полученные с помощью прибора МТП-5. Высокая временная и вертикальная разрешающая способность данных позволила выявлять характерные особенности температурной стратификации, такие как приземные и приподнятые инверсии, изотермические условия, что существенно влияет на процессы рассеивания и переноса примесей.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-17-00155.

Литература:

1. Васин В. А., Ефименко Н. В., Гранберг И. Г. и др. Некоторые особенности изучения связи сердечно-сосудистых заболеваний с экологическими и метеорологическими факторами на низкогорных курортах России / Врач скорой помощи. – 2009. – № 5. – С. 61-62
2. Поволоцкая Н.П., Слепых В.В., Репс В.Ф., Сеник И.А. ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫЙ ПРИРОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ПАТОГЕННЫЕ РИСКИ КЛИМАТА И УРБАНИЗАЦИИ КУРОРТОВ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД / Метеорология и гидрология. 2024. № 2. С. 120-130.

Экстремальные осадки в Кисловодске 27 июля 2018 года: механизмы образования и связь с крупномасштабной циркуляцией атмосферы

Вазаева Н.В.^{1,2}, Семенов В.А.¹, Чхетиани О.Г.¹

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

²Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

vazaevanv@ifaran.ru

Ключевые слова: атмосферный пограничный слой, динамика атмосферы, экстремальные осадки, механизмы образования, диагностика и моделирование

Аспекты прогнозирования экстремальных осадков в горных районах затруднены ввиду внезапности и локальности явления, но чрезвычайно актуальны, поскольку такие осадки связаны со значительными экономическими, социальными и экологическими потерями и рисками. Увеличение точности оперативного прогноза возможно за счет лучшего понимания механизмов формирования и источников влаги для такого вида осадков, с последующим грамотным использованием региональных моделей. Последние являются хорошим инструментом для анализа локальных экстремальных осадков, но время- и ресурсозатратны. Определение причин генерации таких осадков и их статистическое категорирование способствует ускорению оперативного прогнозирования. В исследовании показаны результаты использования атмосферной негидростатической модели WRF для моделирования частного случая экстремальных осадков в Кисловодске 27 июля 2018 г., хорошо согласующиеся по времени возникновения с результатами наблюдений. Проведены эксперименты на чувствительность к температуре поверхности Черного и Каспийского морей, к локальному рельефу, к выбору параметризаций и спектральному «подтягиванию». По результатам анализа сделан вывод об основной причине формирования – фронтальном переносе холодного арктического воздуха по границе омега-блокинга и его вторжении в теплый влажный воздух над районом наблюдений с ССВ, а также дополнительном небольшом переносе влажного (частично за счет подъема по склону гор) воздуха с ЮЗ через горный хребет со стороны Черного моря, что привело к усилению конвекции в момент холодного вторжения (с 12 UTC). Небольшая часть влаги подводится к арктическим массам посредством атмосферных рек и низкоуровневых струйных течений. Отмечена незначительность конвективного механизма и эффекта локальной орографии. Такая модель может с достаточной достоверностью использоваться для последующего оперативного прогноза осадков в Кисловодске.

Работа выполнена при финансовой поддержке ИФА РАН в рамках государственного задания: № 125020501536-2

Создание базы данных наблюдений за турбулентным энергообменом городских ландшафтов с атмосферой в Северной Евразии

Варенцов М.И.^{1,2}, Тельминов А.Е.³, Люлюкин В.С.², Ярославцев А.М.⁴, Джоу Л.⁵, Окунева В.И.¹,
Самсонов Т.Е.¹, Степаненко В.М.¹, Репина И.А.^{2,1}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

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

⁴Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

⁵Институт физики атмосферы имени Китайской академии наук, Пекин, КНР

mvar91@gmail.com

Ключевые слова: турбулентный энергообмен, климат города, мониторинг, Москва, Пекин, Томск, городские параметризации

Наиболее ценными для верификации городских параметризаций в моделях погоды и климата являются прямые наблюдения за турбулентными потоками тепла, влаги и импульса — целевыми переменными, которые эти параметризации рассчитывают для передачи в атмосферную модель. Такие измерения выполняются на мачтах выше уровня крыш и крайне редки. В международном проекте Urban Plumber собраны данные лишь 20 городских мачт [1], при этом континентальная часть Северной Евразии (включая Россию и Китай) в нем не представлена.

В докладе представлены результаты работы по сбору и анализу данных наблюдений за турбулентным энергообменом для трех городов Северной Евразии: Москвы, Томска и Пекина. Для Московского региона использованы данные микрометеорологической мачты МГУ, фоновой загородной мачты Звенигородской научной станции ИФА РАН, а также мачты ТСХА в лесопарковой зоне. Для Томска привлечены данные сети Tomskfluxnet [2], для Пекина — наблюдения мачт ИФА КНР в черте города и его пригороде Сянхэ. Уникальность собранных данных — в возможности прямого сравнения городских и фоновых условий, показывающего существенные различия в потоках тепла и импульса для всех трех городов.

В рамках создания базы данных наблюдения приведены к унифицированному формату (по аналогии с Urban Plumber) и прошли контроль качества. Для калибровки параметризаций рассчитаны морфометрические характеристики подстилающей поверхности и параметры застройки в окрестностях точек измерений. Используются глобальные базы данных о типах земельного покрова, векторная база Overture Maps, а также модель машинного обучения для восстановления этажности зданий. Создаваемая база данных заполняет пробел в географии таких наблюдений, необходимых для развития городских параметризаций в моделях погоды и климата.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 24-17-00155.

Литература:

1. Lipson M. et al. Harmonized gap-filled datasets from 20 urban flux tower sites// Earth Syst. Sci. Data. 2022. V. 14. № 11. P. 5157–5178.
2. Тельминов А. Е. и др. Региональная система мониторинга турбулентного энергообмена атмосферы с поверхностью в городских условиях // Оптика атмосферы и океана. 2025. Т. 38. № 4(435). С. 286–293.

Моделирование спектров вторичных акустико-гравитационных волн в областях критических уровней среднего ветра

Гаврилов Н.М.¹, Кшевецкий С.П.^{1,2,4}, Коваль А.В.¹, Курдяев Ю.А.³

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград, Россия

³Северо-западный филиал ИЗМИРАН, Калининград, Россия

⁴Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

gannik@gmail.com

Ключевые слова: акустико-гравитационные волны, средняя и верхняя атмосфера, моделирование, критический уровень, генерация вторичных волн

Нелинейная численная модель высокого разрешения применяется для изучения распространения акустико-гравитационных волн (АГВ) на высотах от земной поверхности до верхней атмосферы. Используются профили фонового ветра в средней атмосфере, содержащие критические уровни, на которых горизонтальная фазовая скорость АГВ становится равной горизонтальной скорости фонового ветра. Линейная теория атмосферных волн предсказывает, что при приближении к критическим уровням вертикальная длина волны стремится к нулю, что приводит к сильной диссипации АГВ, распространяющихся из нижних слоев, и не позволяет им достичь верхней атмосферы. В используемой модели источники волн задаются в виде возмущений вертикальной скорости, распространяющихся вдоль поверхности Земли. Струйное течение в средней атмосфере аппроксимируется гауссовым профилем среднего зонального ветра с максимумом скорости на высоте 50 км. Расчёты показывают, что для критических уровней, расположенных на высотах от 30 до 70 км часть потока волновой энергии, идущего из нижней атмосферы, может проникать через них и распространяться далее в верхнюю атмосферу. В нелинейной модели вблизи критического уровня происходит усиленное образование вторичных волновых мод.

По результатам моделирования сделан анализ спектров волновых полей вблизи критических уровней и на удалении от них. Показано, что неустойчивость волн около критических уровней усиливает переход энергии от первичных АГВ, распространяющихся от приземных источников, к вторичным волновым модам. Это усиливает спектральные пики на длинах волн, составляющих $1/2$ и $1/3$ от горизонтальной длины первичной АГВ. Поэтому в верхней атмосфере увеличиваются амплитуды вторичных волновых мод с более короткими, чем у первичной АГВ, горизонтальными длинами волн. Амплитуды этих вторичных волн могут превышать амплитуды первичной АГВ, рассчитанных при отсутствии критических уровней в средней атмосфере. Выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант 25-17-00166).

Изменение содержания малых составляющих и температуры атмосферы на высоте излучения ОН во время ВСП 2018-2019 года на меридиональной сети оптических станций в Якутии

Гаврильева Г.А.¹, Аммосов П.П.¹, Колтовской И.И.¹, Юмшанов Н.Н.²

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

²*Технический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального Университета имени М. К.*

Аммосова, Нерюнгри, Россия

gagavrilyeva@ikfia.ysn.ru

Ключевые слова: стратосферное потепление, верхняя мезосфера, содержание NO, OH, O, вращательная температура OH

Наблюдение изменения температуры атмосферы наземными приборами и сопоставление его со спутниковыми измерениями проведено на меридиональной сети оптических станций во время внезапного стратосферного потепления (ВСП) зимой 2018-2019 года. Северо-восточная меридиональная сеть включает полярную (Тикси 71.5°N, 129°E), субполярную (Маймага 63°N, 129.5°E) и среднеширотную (Нерюнгри 56.39°N, 124.43°E) станции. В качестве индикатора состояния нейтральной атмосферы на высоте излучения гидроксильной эмиссии OH(3-1) (~87 км) используются относительная интенсивность и вращательная температура. Содержание NO, OH и атомарного кислорода, также температура в слое OH и ее высота брались из данных радиометра SABER, установленного на спутнике TIMED. Развитие ВСП в нижележащей атмосфере было изучено по данным дистанционного зондирования температуры атмосферы прибором MLS/AURA. Анализ развития мажорного ВСП, наблюдавшегося с середины декабря 2018 по февраль 2019 показал, что начало ВСП (16 декабря 2018 г.) сопровождался ростом температуры стратопавзы, снижением ее высоты на трех станциях одновременно. Полярный вихрь сместился к Сибири, и меридиональная сеть оказалась внутри него. В начале января происходит расщепление полярного вихря и охлаждение стратосферы. К 10 января атмосфера с 20 до 90 км становится почти изотермической. Начиная с этого дня над Тикси формируется поднятая (до 80 - 90 км) стратопавза (ПС). Подобная ПС образуется и над Маймагой, но на меньшей высоте (70 - 75 км). С формированием поднятой до 80 км стратопавзы, согласно измерениям SABER над Тикси, начинается резкое снижение высоты излучения OH и рост температуры внутри слоя. Минимум высоты (78 км) и максимум ТОН до 250 К регистрируется 18 января 2019 г. В это время содержание OH, NO и O также увеличивается в несколько раз. Такие же изменения, но меньшей амплитуды наблюдаются и Маймаге. После расщепления полярного вихря в Нерюнгри не просматривается столь масштабных изменений в состоянии слоя OH.

Квантовые плотности как инструмент частотно-временного анализа и моделирования радиозатменных данных

Горбунов М.Е.^{1,2}, Доловова О.А.¹

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

²Гидрометцентр России, Москва, Россия

gorbunov@ifaran.ru

Ключевые слова: радиозатменное зондирование, многолучевое распространение, частотно-временной анализ, квантовые плотности, лучевые плотности

Радиозатменное зондирование атмосферы основано на измерении сигналов систем глобальной спутниковой навигации, распространяющихся сквозь атмосферу Земли на трассах космос-космос, и принимаемых на низкоорбитальных спутниках. Структура сигналов, прошедших сквозь тропосферу, оказывается сложной. Это обусловлено тонкослоистыми структурами поля влажности и пограничным слоем атмосферы. Перепады вертикального градиента индекса рефракции приводят к многолучевому распространению и сверхрефракции. Наличие горизонтальных градиентов может приводить к нарушению применимости стандартных методов восстановления лучевой структуры волнового поля, основанной на каноническом преобразовании к лучевым координатам, реализуемых интегральными операторами Фурье. В этих условиях большое значение приобретают методы частотно-временного анализа, позволяющие визуализировать структуру волнового поля, не делая никаких предположений о лучевых координатах. Эти методы разворачивают 1-мерную временную зависимость комплексного волнового поля от времени в 2-мерном фазовом (лучевом) пространстве, в котором координатами являются время и доплеровская частота. Простейший вариант частотно-временного анализа – это спектрограмма, получаемая в результате Фурье-анализа в скользящих апертурах. Лучшего разрешения можно добиться, пользуясь функцией распределения Вигнера [1]. Дальнейшие варианты плотностей – это функции распределения Кирквуда и их усреднение по группе вращений фазовой плоскости [2]. Также существуют нормальная и анти-нормальная плотности. Эти плотности полностью характеризуют волновое поле и позволяют записать уравнения квантовой или волновой динамики в виде уравнения переноса в фазовом пространстве. Все указанные варианты функций (псевдо-)распределений в фазовом пространстве связаны друг с другом сверточными соотношениями. Это позволяет строить эффективные алгоритмы их вычисления.

Работа выполнена при поддержке госзадания ИФА им. А.М. Обухова РАН, тема FMWR-2025-0002.

Литература:

1. Горбунов М.Е. Физические и математические принципы спутникового радиозатменного зондирования атмосферы Земли. – М.: ГЕОС, 2019. – 300 с. – ISBN 978-5-89118-780-1.
2. Gorbunov M. and Dolovova O. Fractional Fourier Transform and distributions in the ray space: application for the analysis of radio occultation data // Remote Sensing. 2022. V. 14. No. 22. 5802. DOI: 10.3390/rs14225802.

Волновые процессы в средней атмосфере во время развития малого внезапного стратосферного потепления: событие в январе 2015 г.

Диденко К.А.^{1,2}, Безотеческая Е.А.³, Ермакова Т.С.^{1,4}, Коваль А.В.¹, Маурчев Е.А.²

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

²*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, Москва, Россия*

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

⁴*Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия*

didenko.xeniya@yandex.ru

Ключевые слова: планетарные волны, внезапное стратосферное потепление, энтрофия, волновая активность

В работе проводится исследование динамического режима средней атмосферы в зимний сезон 2014-2015 гг с использованием данных реанализов. Изменчивость атмосферы рассматриваемой зимой была обусловлена развитием внезапного стратосферного потепления (ВСП). Несмотря на то, что это ВСП классифицируется как малое, оно оказало значительное влияние на температурный режим, циркуляцию и химический состав средней атмосферы. Основное внимание уделяется изучению вариаций волновой активности стационарных планетарных волн (СПВ) и процессов, вызванных волновой активностью до, во время и после ВСП. Для изучения волновой активности и волновых процессов используется метод анализа возмущенной потенциальной энтропии. Показано, что вариации волновой активности до развития ВСП обусловлены межволновыми взаимодействиями, а во время и после – процессами обмена СПВ2 (стационарная планетарная волна с зональным волновым числом 2) со средним течением. Развитие малого ВСП в январе 2015 года имело сходные характеристики с развитием большого ВСП, что, вероятно, привело к наблюдаемым изменениям в динамическом режиме нижележащих слоев атмосферы.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда РФН, грант № 25-47-00122.

Исследование температурного и ветрового режима зимнего периода в центре ЕТР с помощью моделей COSMO и WRF

Докукин С.А.¹, Тихоненко Н.Д.^{1,2}, Гинзбург А.С.¹

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

²НИЦ «МЭИ Мейкер», Москва, Россия

dokukinsa@ifaran.ru

Ключевые слова: пограничный слой атмосферы, тепловое загрязнение, городской остров тепла, мезомасштабные климатические модели, COSMO, WRF

При описании мезоклиматических процессов с учетом влияния урбанизированной территории широко используются мезомасштабные модели COSMO-CLM [1] со схемой TERRA-URB [2] и WRF-ARW [3] со схемой SLUCM [4]. В силу наличия в моделях особенностей, связанных как с математическим описанием, так и со схемами параметризации, наблюдаются некоторые отличия в результатах моделирования (особенно в зимний период [5]) температурного и ветрового режима.

Отличия в моделях городской параметризации являются одним из основных факторов, приводящих к отличиям в результатах моделирования, при исследовании процессов, проходящих на территории с высокой степенью урбанизации (такой как центр европейской территории России (ЕТР)). Одним из существенных отличий моделей TERRA-URB и SLUCM является подход к параметризации — в TERRA-URB рассматриваются карты с антропогенными потоками тепла и непроницаемой поверхности, а в SLUCM данные параметры вычисляются на основе данных о типах и расположении локальных климатических зон.

В данной работе обсуждаются результаты моделирования многолетнего (10 сезонов) температурного и ветрового режима зимнего периода в центре ЕТР с помощью моделей COSMO и WRF. Обнаружено сходство между распределением антропогенных потоков тепла, увеличением приземной температуры и увеличением приземной скорости ветра. Показано, что направление смещения московского городского острова тепла в обеих моделях слабо отличается от направления средней скорости приземного ветра, а на направление смещения острова увеличения ветра оказывают влияние как направление приземного ветра, так и шероховатость поверхности. Произведено сравнение уменьшения интенсивности городского острова тепла под действием ветра в обеих моделях, представленное ранее в работах [6, 7] для модели COSMO с существенно меньшим объемом статистических данных.

Работа выполнена в рамках госзадания ИФА им. А.М. Обухова РАН, регистрационный номер 125021001827-3.

Литература:

1. <http://www.clm-community.eu>
2. http://www.cosmo-model.org/content/tasks/workGroups/wg3b/docs/terra_urb_user.pdf
3. Skamarock, W. C. et al. NCAR Tech. Note (2019) 145.
4. Kusaka H., Kimura F. JMSJ Ser. II (2004) 82, 67-80.
5. Manco I. et al. Tethys: revista meteorología y climatología mediterránea. (2023) 20. 1-20.
6. Dokukin S. A. and Ginzburg A. S. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. (2020) 606. 012010.
7. Ginzburg A. S. and Dokukin S. A. Atmos. Ocean. Phys. (2021) 57. 47.

Совершенствование моделей машинного обучения для оценки вертикального профиля оптической турбулентности по метеорологическим данным

Дрига М.Б., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

driga@mail.iszf.irk.ru

Ключевые слова: астроклимат, атмосферная оптическая турбулентность, машинное обучение, байесовская оптимизация

Качество астрономических наблюдений наземными оптическими телескопами определяется интенсивностью атмосферной оптической турбулентности (АОТ), количественной мерой которой является структурная постоянная показателя преломления C_n^2 . Прямое измерение высотного профиля C_n^2 инструментальными методами представляет известные сложности. Ранее нами были предложены подходы к восстановлению характеристик АОТ с помощью моделей машинного обучения (Майданак, ССО, БАО, Шаджатмаз), выбор гиперпараметров которых определялся полным перебором по сетке. Даже для единичного слоя, для достижения высокой точности, требовались большие вычислительные ресурсы.

Цель настоящей работы — повышение точности определения интенсивности АОТ в атмосферных слоях на разных высотах за счет индивидуализации архитектуры моделей машинного обучения для каждого турбулентного слоя. Для модернизации модели машинного обучения оказалось целесообразно использовать байесовский алгоритм оптимизации гиперпараметров. Для верификации были выбраны наземные метеорологические наблюдения, данные из реанализа ERA-5, а также данные измерений обсерватории Кисловодска. Для каждого высотного слоя независимо подбирались гиперпараметры случайного леса с использованием алгоритма оптимизации на основе гауссовских процессов.

Результаты. Индивидуальный подбор гиперпараметров позволил повысить значение коэффициента корреляции Пирсона (от 1 до 14%) между измеренными и предсказанными значениями C_n^2 на всех высотах. Байесовская оптимизация обеспечила более быструю сходимость и позволила избежать перебора на грубой сетке.

Заключение. Предложенный подход — раздельное обучение ансамблевых моделей с байесовской оптимизацией — позволяет достичь предельной точности восстановления профиля АОТ по косвенным данным. Метод может быть масштабирован для других географических регионов и использован при инструментальном обследовании потенциальных астроклиматических площадок.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-72-10043

Потоки тепла, влаги и парниковых газов в лесных и болотных экосистемах стационара Мухрино

Дюкарев Е.А.^{1,2}, Дмитриченко А.А.¹, Заров Е.А.^{1,2}, Кулик А.А.^{1,2}, Лапшина Е.Д.¹

¹Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

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

dekot@mail.ru

Ключевые слова: чистый экосистемный обмен, эмиссия метана, потоки тепла, болотные экосистемы, Западная Сибирь, Мухрино

Болотные экосистемы Западной Сибири играют ключевую роль в глобальном цикле углерода, выступая как долгосрочным резервуаром органического вещества в виде торфа, так и значительным источником метана. В докладе представлены результаты наблюдений потоков CO₂, CH₄, влаги и энергии в 2022-2025 гг методом турбулентных пульсаций на трех эколого-климатических станциях, расположенных на территории карбонового полигона Мухрино (Ханты-Мансийский Автономный Округ-Югра): КМ-МУН01 – грядово-мочажинный болотный комплекс, КМ-МУН02 – сосново-кустарничково-сфагновое болото, КМ-МУН03 – смешанный лес.

Исследованные болотные экосистемы выполняют функцию стока атмосферного углерода, демонстрируя выраженную сезонную динамику обмена. Годовое чистое поглощение углекислого газа варьирует в зависимости от типа болота: грядово-мочажинный комплекс поглощает 109.0 гС/м²/год, что примерно на 20% больше, чем на облесенном сосново-сфагновом болоте, где этот показатель составляет 87.6 гС/м²/год. Параллельно эти экосистемы являются значительным источником метана, причем эмиссия на облесенном болоте примерно вдвое ниже, чем на открытом грядово-мочажинном комплексе. Смешанный лес в различные годы исследования действует как слабый сток или источник CO₂.

Ключевыми факторами, контролирующими углеродные и энергетические потоки, выступают абиотические условия. На получасовом масштабе солнечная радиация является универсальным драйвером, наиболее сильно влияя на потоки явного тепла и чистый обмен CO₂. Температура воздуха выступает главным регулятором эмиссии метана и потока скрытого тепла, связанного с испарением. При этом потоки энергии тесно взаимосвязаны между собой и с газовыми потоками: например, увеличение потока скрытого тепла коррелирует с ростом эмиссии метана.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 25-17-00167, <https://rscf.ru/project/25-17-00167/>

Параметры внезапных стратосферных потеплений на высотах 30 км и 40 км

Ефимов М.М., Гаврилов Н.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
matvey.efimov.96@mail.ru

Ключевые слова: средняя атмосфера, стратосфера, внезапные потепления, климатология

Целью данной работы является сравнение характеристик внезапных стратосферных потеплений (ВСП) на высотах 30 и 40 км за период с 1958-2023 г. г., определенных методом поиска экстремумов скорости изменения температуры и ветра по данным японского 55-летнего метеорологического реанализа JRA-55. Время начала и окончания ВСП идентифицировано по моментам нулевых значений второй производной температуры и зональной скорости усредненных по широтам выше 60° с. ш. на высотах 30 км и 40 км, которые соответствуют экстремальным значениям скорости изменения этих параметров. За 66-летний период обнаружено 151 и 158 среднезимних ВСП на высотах 30 км и 40 км, соответственно (в среднем по 2,3-2,4 события в год). Количество и типы событий ВСП, на разных высотах могут отличаться. Для анализа возможных климатических изменений 66-летний интервал был поделен на равные 33-летние промежутки: 1958-1990 гг. и 1991-2023 гг. В ходе сравнений средних характеристик ВСП выяснилось, что количество событий ВСП за последние 33 года уменьшилось на 3 и 4 события на высотах 30 км и 40 км, соответственно. Средняя частота появления ВСП снизилась с 2,3-2,5 год⁻¹ до 2,1-2,3 год⁻¹. Продолжительность ВСП увеличилась в среднем на 1 сут и 3 сут на высотах 30 км и 40 км, соответственно. На высоте 30 км в 1991 — 2023 г. увеличилось число главных потеплений, в то время как на высоте 40 км это число осталось неизменным. Приращение температуры во время ВСП увеличилось на 1-2 К. Также в ходе исследования было установлено, что моменты максимальной скорости роста температуры опережают в среднем на сутки моменты наиболее быстрого убывания зонального ветра в начале ВСП. Подтверждено, что развитию ВСП всегда предшествуют увеличения меридионального потока тепла, направленного в сторону Северного полюса, которые могут способствовать нагреванию полярной стратосферы и развитию ВСП. Исследование поддержано грантом РНФ №25-17-00166.

Параметры субмезомасштабных движений в устойчивом АПС по данным многоточечных содарных измерений

Зайцева Д.В.¹, Люлюкин В.С.^{1,2}, Каллистратова М.А.¹, Кузнецов Д.Д.¹

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

²Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия

zaycevadvg@gmail.com

Ключевые слова: устойчивый атмосферный пограничный слой, содар, когерентные структуры

В работе представлены результаты экспериментального исследования субмезомасштабных движений, регулярно наблюдающихся в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое (УАПС). Измерения проводились в летний период над однородной степной поверхностью с использованием трёх идентичных по конструкции содаров, разнесённых по горизонтали на расстояние порядка 300 метров. Такая конфигурация измерительной сети позволила не только выявлять структуры в нижнем 300-метровом слое по характерным образам на эхограммах (наклонные полосы, валы, «кошачьи глаза»), но и оценивать параметры их распространения, а также пространственно-временную динамику путём сопоставления данных с разных пунктов.

Для детального рассмотрения были отобраны два типа эпизодов, характерных для исследованного массива данных. К первому типу относятся структуры в форме наклонных полос и валов, регистрируемые внутри приземного инверсионного слоя. Их периоды не превышали 5 минут, а общая длительность существования составляла до 120 минут. Такие образования демонстрировали высокую устойчивость, слабо меняя форму и высотное положение при прохождении через измерительную сеть. Ко второму типу относятся структуры также в форме валов, но наблюдавшиеся в слое, приподнятом над инверсионным. При сходных периодах они характеризовались существенно меньшими вертикальной мощностью и временем жизни и, кроме того, заметной изменчивостью: их форма могла значительно трансформироваться по мере их распространения через измерительную сеть. Для всех зарегистрированных случаев с помощью корреляционного анализа были определены вертикальные профили горизонтальных скорости и направления распространения структур.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 25-17-00060).

Метод построения траектории акустического луча от импульсного источника

Закиров М.Н., Куличков С.Н.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
zakirov.mn16@physics.msu.ru

Ключевые слова: трассировка лучей, графовый алгоритм, волновой фронт, распространение сигнала

Построение волнового фронта атмосферных возмущений представляет собой важную задачу для систем раннего предупреждения о техногенных и природных катастрофах, но в то же время является ресурсоемкой, так как требует информации о температуре, скорости и направлении ветра и высоты подстилающей поверхности.

В данной работе предложен эффективный метод быстрого расчета волнового фронта с использованием технологии трассировки лучей. В основе алгоритма лежит построение специального графа, который содержит координаты точек пространства и информацию о минимальном времени, необходимом для прохождения сигнала до каждой из них. Этот метод учитывает температуру воздуха и скорость ветра на пути распространения сигнала. Наименьший полученный временной интервал в конечной точке служит оценкой времени распространения сигнала. При обратном обходе графа, двигаясь от конечной точки к начальной, по самой короткой ветке можно определить координаты точек, формирующих оптимальную траекторию. Данный метод может быть применен для построения лучей на расстояниях в несколько тысяч километров.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-17-00060.

О влиянии воздушных вихрей на верхнюю атмосферу Земли

Захаров В.И.^{1,2,3}, Соловьева М.С., Шалимов С.Л.^{3,4}

¹Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

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

³Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

⁴Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

zvi_555@list.ru

Ключевые слова: тропический циклон, озоновый слой, сверхдлинноволновое радиопросвечивание, акустические гравитационные внутренние волны, ионосфера, Swarm

В докладе обсуждается вопрос о передаче на высоты стратосферы и верхней атмосферы отклика от крупных атмосферных вихрей возникающих в нижней атмосфере (на примере тропических циклонов). Для стратосферных высот это влияние может детектироваться как вариации концентрации озона и его общего содержания. В верхней атмосфере и ее ионизованной части ионосфере это воздействие проявляется в возмущениях электронной концентрации. Проведены теоретические оценки частот генерации волн циклонами по метеоданным.

Для анализа возмущений стратосферы использованы данные общего содержания озона в области прохождения тропического циклона, полученные комплексом приборов спутника Aqua. Исследования возмущений в верхней атмосфере (для высот слоя D) проводились с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» и региональной Дальневосточной сети станций СДВ-радиопросвечивания верхней атмосферы. Получить данные на высотах 345-530 км стало возможным благодаря непосредственным наблюдениям электронной концентрации на зондах Ленгмюра, установленных на спутниках группировки Swarm Европейского космического агентства.

Проведенный анализ позволяет установить, что возможным механизмом передачи возмущений в атмосфере является волновой, а характеристики возмущений показывают их акустическую или акустико-гравитационную природу. Часть спектра внутренних гравитационных волн, генерируемых циклоном, достигают стратосферы и ионосферы и способны вызывать вариации общего содержания озона в стратосфере, вариации фазы и амплитуды СДВ-сигнала на высотах нижней ионосферы, а также непосредственно вариации плотности плазмы в верхней ионосфере.

Структура выделенных откликов показывает возможность взаимодействия внутренних волн от разных источников, включая и волны от береговой линии по ходу распространения циклона или тайфуна.

Исследование влияния внезапного стратосферного потепления на стратосферно-тропосферный обмен и образование волн холода

Коваль А.В.^{1,2}, Топтунова О.Н.^{1,2}, Диденко К.А.^{1,3}, Ермакова Т.С.^{1,4}, Гаврилов Н.М.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

³Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН, Москва, Россия

⁴Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

a.v.koval@spbu.ru

Ключевые слова: внезапное стратосферное потепление, вертикальное взаимодействие, волна холода, динамика атмосферы

Исследование посвящено аспектам динамического взаимодействия стратосферы и тропосферы во время сильных внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Для рассмотрения были взяты ВСП, наблюдавшиеся в последние годы. С использованием данных реанализа MERRA2 рассматривается влияние расположения стратосферного полярного вихря на положение высотной фронтальной зоны (ВФЗ), аномалии температуры поверхности, а также на характеристики тропопаузы. Продемонстрировано, что события ВСП влияют на расположение высотной фронтальной зоны, изменяя ведущие потоки в тропосфере и приводя к развитию волн холода. Изэнтропический анализ показал, что ВСП может вызывать проникновение стратосферного воздуха в тропосферу, что способствует усилению холодного вторжения на поверхности. С помощью корреляционного анализа демонстрируется взаимосвязь между стратосферными процессами и аномалиями геопотенциальной высоты в тропосфере, наблюдаемая с двухнедельным временным лагом. Анализ 3-мерных потоков волновой активности во время ВСП демонстрирует динамическое влияние стратосферы на тропосферу, способствующее формированию волны холода.

Результаты исследования влияния ВСП на тропосферную циркуляцию показали, что наличие прямого воздействия сверху, такого как отражение планетарных волн, складки тропосферы и проникновение стратосферного воздуха в тропосферу, должно сочетаться со стохастической составляющей, связанной с внутренней тропосферной изменчивостью. Сигнал от ВСП в нижней атмосфере проявляется в деформации ВФЗ, формировании горизонтальной адвекции давления и формированию волны холода на поверхности после ВСП. Настоящее исследование особенностей вертикального взаимодействия стратосферы с тропосферой при формировании таких экстремальных внешних воздействий, как ВСП, важно для понимания процессов, которые необходимо учитывать в долгосрочном прогнозировании, включая субсезонное и сезонное прогнозирование. Исследование поддержано Санкт-Петербургским государственным университетом: проект № 124032000025-1.

Турбулентность внутри облака уменьшает наблюдаемое значение относительной влажности

Кочин А.В.

Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Россия

amarl@mail.ru

Ключевые слова: влажность, облако, турбулентный вихрь, радиозонд, оптические характеристики

Критерием формирования облачности является достижение водяным паром состояния насыщения. Из этого утверждения делается вывод, что внутри облака относительная влажность близка к 100 %. Экспериментальные данные свидетельствуют об обратном, например, средняя относительная влажность по данным радиозонда на АЭ Долгопрудная на высоте нижней границы облака равна 75 %. Состояние насыщения воздуха возникает вследствие уменьшения температуры при адиабатическом охлаждении поднимающегося объема. Однако подъем это смещение вверх некоторого объема в турбулентном вихре, которое должно компенсироваться опусканием связанного объема или части турбулентного вихря. Опускание объема вызывает повышение температуры воздуха и сопровождается уменьшением относительной влажности. Конкретная величина уменьшения зависит от температуры. Ориентировочно при опускании без перемешивания с окружающим воздухом на 0,5 км относительная влажность уменьшится со 100 % до 50 %. Радиозонд в облаке пересекает области с различными содержанием водяного пара и ввиду инерционности датчика влажности регистрирует некоторое усредненное значение. Измеренное значение 75 % позволяет оценить максимальный размер турбулентных вихрей порядка 0,5 км. В опускающемся объеме могут находиться облачные капли, которые будут испаряться. Однако этот процесс инерционный, например, время испарения капли радиусом 100 микрон составляет примерно 1200 секунд, поэтому полного восстановления содержания водяного пара не произойдет. Тем не менее малые облачные частицы радиуса порядка микрона испаряются при опускании связанного объема, что уменьшает оптическую толщину среды. Подобный процесс должен вызывать появление в облаке пустот (каверн) с отсутствием малых облачных частиц радиуса порядка микрона и протяженную нижнюю границу облачности, что повлияет на оптические свойства облачности (Фейгельсон 1984). Моделирование микрофизики облаков с учетом вихревых движений (Khain) подтверждает этот результат.

Литература:

1. Фейгельсон Е. М. 1984. Радиация в облачной атмосфере
2. A. Khain, M. Pinsky et al. 2000. Notes on the state-of-the-art numerical modeling cloud microphysics. Atmospheric Research 55(3-4):159-224 DOI: 10.1016/S0169-8095(00)00064-8

Климатология мезомасштабных вихрей в атмосфере Северной Атлантики: результаты автоматической идентификации и физическая интерпретация типов

Кощкина В.С.^{1,2}, Гавриков А.В.¹, Ежова Е.А.^{1,2}, Филончик П.Г.²

¹Институт океанологии им. П.П. Ширикова РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия
koshkina.vs@phystech.edu

Ключевые слова: когерентные вихревые структуры, идентификация вихрей, мезомасштабная метеорология, численное моделирование, Северная Атлантика, тропические циклоны

Спектр мезомасштабных процессов в атмосфере охватывает широкий пространственно-временной диапазон. В отличие от сравнительно хорошо изученных тропических циклонов (ТЦ), изучение более мелких явлений мезомасштаба (от полярных мезоциклонов (ПМЦ) до мезомасштабных конвективных систем) было ограничено низкой разрешающей способностью глобальных климатических моделей, а также отсутствием единого физически и математически обоснованного критерия их идентификации. Современные подходы также фрагментарны: преимущественно создаются изолированные базы данных для отдельных типов мезомасштабных процессов на основе ручной идентификации или наборов экспертных пороговых значений различных термодинамических параметров, подобранных под конкретный класс явлений, что не позволяет обобщить метод на другие типы. Это приводит к пробелам в понимании вклада различных типов мезомасштабных явлений в процессы перераспределения тепла, влаги и энергии в атмосфере и их климатическую изменчивость.

В данной работе предложен подход к заполнению этого пробела путем создания систематической климатологии различных типов мезомасштабных вихрей на основе единого автоматического метода идентификации (Rortex-критерий) [2], трекинга и типизации. Для этого был использован массив данных 40-летнего ретроспективного численного моделирования атмосферы над Северной Атлантикой (NAAD, 1979–2018) [1]. Путем анализа многомерного пространства кинематических, геометрических и термодинамических признаков с применением статистических методов (кластеризация методом k-means) проведена типизация полученных вихрей и дана характеристика выделенных групп в терминах их пространственно-временной локализации и термодинамических свойств. Метод не только воспроизводит заранее известные типы мезомасштабных процессов, но и выявляет переходные или иные (пока не типизированные) формы мезомасштабной вихревой динамики.

Литература:

1. Gavrikov A. et al. RAS-NAAD: 40-yr high-resolution north atlantic atmospheric hindcast for multipurpose applications (new dataset for the regional mesoscale studies in the atmosphere and the ocean) //Journal of Applied Meteorology and Climatology. – 2020. – Т. 59. – №. 5. – С. 793-817.
2. Liu, Y. Gao, S. Tian, and X. Dong. Rortex—a new vortex vector definition and vorticity tensor and vector decompositions. Physics of Fluids, 30(3), 2018.

Анализ когерентных возмущений в устойчиво стратифицированном АПС однородной степной поверхности

Креузов А.С.^{1,2}, Куличков С.Н.^{1,2}, Попов О.Е.¹, Зайцева Д.В.¹, Люлюкин В.С.^{1,3}, Кузнецов Д.Д.¹

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

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

³*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия*

kreuzov.as21@physics.msu.ru

Ключевые слова: атмосферный пограничный слой, устойчивая стратификация, субмезомасштабные вихревые структуры, когерентные возмущения, микробарографические измерения, содарное зондирование

В условиях устойчивой температурной стратификации в атмосферном пограничном слое (АПС) регулярно наблюдаются субмезомасштабные вихревые структуры (с горизонтальными масштабами, не превышающими нескольких километров). Микробарографические измерения флуктуаций давления, проведённые в нескольких горизонтально разнесённых точках, позволяют определять горизонтальные скорости и направления распространения когерентных возмущений, но не дают информации об их вертикальной структуре и локализации. Данные измерений акустических локаторов (содаров) служат в этом случае хорошим дополнением: высотно-временные развёртки содарного эхо-сигнала (эхোগраммы) позволяют не только установить, локализованы ли в АПС структуры, соответствующие возмущениям давления, но и определить их форму и вертикальную мощность.

В работе использованы данные многоточечных измерений, проводившихся в Ростовской области на Цимлянском научном полигоне Института физики атмосферы на однородной степной поверхности в августе 2025 года. Измерительные пункты были расположены в вершинах прямоугольного треугольника со сторонами ~300 метров. Каждая точка была оснащена микробарографом МБ-2014 производства НПО “Тайфун”, обеспечивавшим запись временных рядов флуктуаций давления, а также ультразвуковыми термометрами-анемометрами и содарами.

Посредством анализа содарных эхোগрамм были выявлены случаи когерентных структур, атрибутированных как вихревые структуры типа валов Кельвина-Гельмгольца (ВКГ). Для отдельных эпизодов был проведен спектральный и кросс-корреляционный анализ возмущений давления, компонент скорости ветра и температуры. Показано, что спектральные максимумы флуктуаций давления соответствуют периодам структур, наблюдаемых на эхোগраммах. Рассчитанные скорости и направления распространения ВКГ оказались близки к скорости и направлению ветра в соответствующем высотном слое.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-17-00060.

Литература:

1. Mahrt L. Stably stratified atmospheric boundary layers //Annual review of fluid mechanics. 2014. Т. 46. №. 1. С. 23-45.
2. Куличков С.Н., Чунчузов И.П., Попов О.Е., Перепелкин В.Г., Голикова Е.В., Буш Г.А., Репина И.А., Цыбульская Н.Д., Горчаков Г.И. Внутренние гравитационные и инфразвуковые волны во время урагана в Москве 29 мая 2017 г // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 2. С. 32-40

Моделирование токовых структур полярной ионосферы по данным наземных и спутниковых наблюдений

Кудин Д.В.¹, Соловьев А.А.^{1,2}, Нанов М.И.¹, Красноперов Р.И.¹

¹Геофизический центр РАН, Москва, Россия

²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

d.kudin@gcras.ru

Ключевые слова: полярная ионосфера, моделирование, магнитные обсерватории, низкоорбитальные спутниковые миссии

Современные подходы к изучению и моделированию процессов, происходящих в ионосфере невозможны без привлечения больших объемов измерений, выполняемых на земле и в околоземном пространстве. Ситуация осложняется сложность в обмене данными между институтами разной ведомственной и географической принадлежности. В Геофизическом центре РАН в 2014 году был создан аппаратно-программный комплекс МАГНУС сочетающий в себе функции накопления, обработки и передачи научному сообществу исходных и производных данных с магнитных обсерваторий и низкоорбитальных спутников. Одним из важных научных результатов, полученных на базе АПК "МАГНУС" является построение модели-кандидата Международного аналитического эталонного поля IGRF-14 [1]. Дальнейшим развитием системы стала система анализа токов в верхней ионосфере по данным миссии Swarm. В работе будут описаны подходы и методы хранения и обработки геофизических данных в АПК "МАГНУС", а также разобраны методы фильтрации и ассимиляции данных для моделирования на примере новейшей спутниковой миссии Macau Science Satellite MSS-1.

Литература:

1. Firsov, I., Kudin, D., Soloviev, A. et al. GCRAS candidate field models for IGRF-14. Earth Planets Space 78, 9 (2026). <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02318-2>
2. Белов И. О., Соловьев А. А., Пилипенко В. А., Добровольский М. Н., Богоутдинов Ш. Р., Калинин К. Д. Онлайн система для анализа токов в верхней ионосфере по данным спутников Swarm // Солнечно-земная физика. 2023. №. 4. С. 121-133. DOI: <https://doi.org/10.12737/szf-94202314>

Какова вероятность прохождения смерчей (торнадо) через объекты на земной поверхности?

Курганский М.В.

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

kurgansk@ifaran.ru

Ключевые слова: смерчи, торнадо, вероятность прохождения торнадо, распределение Релея

Оценена вероятность прохождения смерчей (торнадо) через различные объекты на земной поверхности: точку, пару точек и отрезок прямой линии, в том числе большой длины. Использованы предложенное в работе полуэмпирическое соотношение между максимальной скоростью ветра в вихре и радиусом максимального ветра в нем, а также распределение Релея для максимальной скорости ветра в популяции смерчей (торнадо). Полученные результаты применены к торнадо в штате Оклахома, США, а также к смерчам в Центральном федеральном округе Российской Федерации и, в частности, в Московском регионе. Получен на первый взгляд парадоксальный вывод о том, что риск от прохождения смерчей через протяженные линейные объекты максимален, когда они ориентированы под углом в 45 градусов к преимущественному направлению движения смерчей.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда (проект № 24-17-00357).

Аппроксимация системы законов сохранения для газа, стратифицированного полем тяжести; функция Ляпунова и устойчивость

Кшевецкий С.П.^{1,2,3}, Курдяева Ю.А.⁴, Гаврилов Н.М.³, Закиров М.Н.²

¹Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград, Россия

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

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴Калининградский филиал Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калининград, Россия

renger@mail.ru

Ключевые слова: гидродинамика, атмосфера, уравнения Эйлера, устойчивость, функция Ляпунова, численный метод, корректность задачи, слабое решение, неравновесная термодинамика

Рассматривается моделирование нелинейных волновых процессов в идеальном газе, стратифицированном полем тяжести (атмосфере). Динамика среды описывается нелинейными уравнениями Эйлера. Численные методы строятся как развитие апробированных подходов, разработанных для линеаризованных уравнений и позволяющих проводить расчеты с высоким разрешением на длительных временных интервалах в широком диапазоне высот. Предложен невозрастающий функционал волновой энергии, обобщающий классический функционал линейной теории на нелинейный случай. На его основе показано, что консервативность разностных схем и соблюдение закона неубывания энтропии являются необходимыми условиями устойчивости. Построены полудискретные (непрерывные по времени) консервативные аппроксимации уравнений Эйлера, удовлетворяющие фундаментальным законам сохранения, а также принципам неотрицательности и минимизации производства энтропии. Для полученной системы дифференциально-разностных уравнений предложена функция Ляпунова, с помощью которой исследуется устойчивость волновых решений. Приводится пример моделирования волновых процессов в атмосфере, подтверждающий эффективность разработанных методов.

Анализ динамической структуры устойчивого АПС по содарным данным с использованием композитного анализа

Люлюкин В.С.^{1,2}, Зайцева Д.В.¹, Каллистратова М.А.¹, Кузнецов Д.Д.¹

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

²*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия*

lyulyukin@gmail.com

Ключевые слова: содары, когерентные структуры, устойчивый атмосферный пограничный слой

В работе представлен анализ динамической структуры устойчивого атмосферного пограничного слоя (АПС) на основе данных содарного зондирования с применением метода композитного анализа. С использованием содарных измерений высокого пространственно-временного разрешения построены двухмерные поля скорости ветра в устойчивом АПС. Анализ полученных полей выявил наличие когерентных вихревых структур с горизонтальными масштабами от сотен метров до нескольких километров, сохраняющихся на протяжении десятков минут.

Показано наличие пространственной корреляции между выявленными вихревыми структурами в поле ветра и областями повышенной интенсивности эхосигнала содара, что свидетельствует о прямой связи наблюдаемых вихрей с турбулентными неоднородностями в атмосферном пограничном слое. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения механизмов вертикального обмена в устойчивом АПС и для верификации численных моделей атмосферной динамики.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-17-00060.

Изучение пространственных флуктуаций аэрозоля в проекте DELICAT методом фазовых спектров

Мамонтов А.Е.¹, Горбунов М.Е.^{1,2}, Федорова О.В.¹

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

²Гидрометцентр России, Москва, Россия

alex1372049@gmail.com

Ключевые слова: лидар, дистанционное зондирование, пространственные спектры, флуктуации аэрозоля, рассеяние, фазовые спектры, пространственный сдвиг

В рамках проекта DELICAT (DEmonstration of LIdar based Clear Air Turbulence detection) при помощи самолетного лидара был получен большой массив наблюдений аэрозольного рассеяния на высотах полетов гражданской авиации. Ранее на основе этих данных мы вычислили пространственные спектры флуктуаций плотности аэрозоля. Для этого мы использовали следующие приближения: 1) облака считаются неподвижными на масштабе времени порядка одной минуты, 2) вариации направления линии визирования считаются малыми. Лидар излучает короткие импульсы, позволяющие получить оценку профиля плотности рассеивателей вдоль линии визирования для положения самолета в текущий момент времени. Профили, полученные при разных положениях самолета при выполнении указанных выше предположений и в отсутствие шумов приемника, должны отличаться только пространственным сдвигом. Пространственный сдвиг равен расстоянию, пролетаемому самолетом за временной интервал между зондированиями. Ошибки, связанные с вариациями линии визирования, временной динамикой аэрозольных образований и шумами приемника, нарушают такое соотношение. В данной работе мы оцениваем эти ошибки. Для этого используются кросс-спектры сигналов как функции временных интервалов между измерениями профилей плотности аэрозоля вдоль трассы полета. Фаза кросс-спектра (фазовый спектр), в зависимости от временного интервала между зондированиями, в случае чистого пространственного сдвига является линейной функцией частоты. Частота, для которой фазовый спектр начинает отличаться от линейной функции, дает оценку масштабов неоднородностей, заметно меняющихся на данном временном интервале. Разная зависимость вкладов трёх ошибок от расстояния зондирования позволит разделять их и оценивать по отдельности.

Многолетние изменения характеристик верхней атмосферы в Восточной Сибири: зависимость от солнечной, геомагнитной и атмосферной активности

Медведева И.В.^{1,2}, Ратовский К.Г.¹

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

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

ivmed@iszf.irk.ru

Ключевые слова: верхняя атмосфера, межгодовые вариации, атмосферные осцилляции, мезопауза, температура, максимум электронной концентрации

На основе многолетних данных измерений на комплексе инструментов Института солнечно-земной физики СО РАН в 2008-2020 гг проведен анализ межгодовых изменений характеристик верхней атмосферы в регионе Восточной Сибири. В исследовании использованы: 1) данные о температуре области мезопаузы T_m , полученные при помощи спектрометрических измерений параметров эмиссии молекулы $OH(6-2)$, 2) данные о максимуме электронной концентрации $NmF2$, полученные из ионограмм вертикального зондирования. Для анализа был выбран метод множественной линейной регрессии среднегодовых значений T_m , $NmF2$ и их изменчивостей на индексы солнечной ($F10.7$) и геомагнитной (Ap) активности. Обнаружено, что на межгодовые изменения $NmF2$ преимущественно влияет солнечная активность (коэффициент детерминации $\sim 99\%$). Вариации среднегодовых значений изменчивости $\sigma NmF2$ обусловлены как солнечной, так и геомагнитной активностью. Межгодовые изменения температуры мезопаузы и ее изменчивости, в отличие от ионосферных характеристик, слабо коррелируют с индексами $F10.7$ и Ap . Для дальнейшего анализа поведения температуры мезопаузы были дополнительно использованы индексы Южной (SOI), Североатлантической (NAO) и Арктической (AO) осцилляций атмосферы. Анализ с использованием индексов атмосферных циркуляций показал значительное повышение коэффициентов детерминации. Для межгодовых вариаций температуры мезопаузы выявлено существенное (в ~ 8 раз) увеличение коэффициентов детерминации для регрессии на индексы AO и $F10.7$ и на индексы NAO и $F10$ по сравнению с регрессией на индексы $F10.7$ и Ap . Для температурной изменчивости σT_m , максимальные коэффициенты детерминации получены для множественной регрессии на SOI и Ap . Результаты исследования могут свидетельствовать о значительном влиянии процессов в нижележащей атмосфере на температурный режим области мезопаузы средних широт в анализируемый временной интервал.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-00187, <https://rscf.ru/project/25-17-00187>.

Оценка активности ВГВ в зимней средней атмосфере над Якутском

Титов С.В., Николашкин С.В., Сидоров Н.Э.

Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
stitev@ikfia.ysn.ru

Ключевые слова: лидар, внутренние гравитационные волны, вейвлет анализ, частота Брента-Вайсяля, плотность потенциальной энергии ВГВ

Проанализирована активность атмосферных внутренних гравитационных волн (ВГВ) в зимней стратосфере и нижней мезосфере в течение зим с 2010 по 2017 гг., путем расчета плотности потенциальной энергии из вариаций температурного профиля лидарных измерений около Якутска, Россия (61° с.ш., 129° в.д.). Определены основные вертикальные длины волн ВГВ, с использованием вейвлет-анализа. Особое внимание уделено активности ВГВ в средней атмосфере во время зимних внезапных стратосферных потеплений.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 25-27-20119

Эргодичность случайных процессов. Эффект эволюции уровня

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

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

lukin@iao.ru

Ключевые слова: эргодическая теорема, нестационарный процесс, эволюция уровня, турбулентность

Доказана эргодическая теорема для нестационарных случайных процессов. Для стационарных процессов эргодическая теорема была установлена Дж. Тейлором (1922 г.). Наше доказательство подтверждает представления О. Рейнольдса (1894 г.), согласно которым интервал временного осреднения должен быть велик по сравнению с характерными периодами пульсационного поля, но мал по сравнению с периодами осредненного поля. Показано, что для умеренных длин экспериментальных случайных выборок в нестационарной турбулентности приблизительно реализуются локально стационарные случайные процессы (локально однородные случайные поля).

Установлена причина «эволюции уровня» – обнаруженного в экспериментах (еще в середине XX в.) явления дрейфа, или ухода среднего значения. Этот эффект значительно затрудняет определение средних значений по экспериментальным записям случайных реализаций, так как выяснилось, что результат усреднения сильно зависит от длительности используемых реализаций и длины интервала осреднения. Приемлемых объяснений явлению эволюции уровня не было. Доказанная нами эргодическая теорема позволила установить, что причиной эволюции уровня является нестационарность случайных процессов (неоднородность случайных полей). Указана приближенная мера для количественных оценок явления эволюции уровня. Показано, что существует такое время осреднения (названное нами экстремальным), при котором эффект эволюции уровня минимален. Поэтому в экспериментах времени осреднения следует выбирать близкими к экстремальному.

Полученный результат важен для исследований турбулентности в атмосфере, в которой все гидродинамические элементы нестационарны и имеют выраженный суточный и годовой ход. Результат позволяет определить наилучшие параметры осреднения и повысить достоверность исследований нестационарных процессов.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики и государственного задания ИОА СО РАН.

Анализ возмущений, вызванных в атмосфере Земли извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай в январе 2022 года

Перевалова Н.П.¹, Шестаков Н.В.^{2,3}, Болсуновский М.А.^{2,3}, Золотухина Н.А.¹

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

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

³Институт прикладной математики ДВО РАН, Владивосток, Россия

pereval@iszf.irk.ru

Ключевые слова: волны в атмосфере, вулканы, извержения, ГНСС, GPS, ГЛОНАСС

На основе данных наземных сетей приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) проведен анализ возмущений, вызванных в верхней атмосфере Земли извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 г. Для анализа использовались данные глобальных ГНСС-сетей IGS, UNAVCO, SONEI, а также региональных сетей в Австралии, Новой Зеландии, Канаде, России. На основе данных ГНСС уточнено время начала извержения. Показано, что извержение проходило в возмущенных геомагнитных условиях. Однако его воздействие оказалось настолько сильным, что волновые возмущения в верхней атмосфере уверенно выделялись до расстояний 10000-12000 км. Проведено сопоставление результатов, полученных по ГНСС-данным в верхней атмосфере, с полученными другими исследователями результатами регистрации волн в нижней атмосфере. Установлено, что на больших расстояниях (8000-10000 км) от вулкана волны в верхней атмосфере регистрируются на 40-50 мин раньше, чем в тропосфере. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-00187, <https://rscf.ru/project/25-17-00187/>.

Региональное взаимодействие атмосферы и океана

Репина И.А., Чечин Д.Г., Шестакова А.А., Барсков К.В., Пашкин А.Д., Артамонов А.Ю.

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

repina@ifaran.ru

Ключевые слова: взаимодействие океана и атмосферы, полярные районы, морской лед, прибрежные зоны, энергетический баланс, потоки тепла и импульса, стратификация атмосферы, пограничный слой

Взаимодействие океана и атмосферы представляет собой фундаментальный механизм, определяющий климатическую систему Земли. Ключевым звеном этого взаимодействия является пограничный слой — зона непосредственного контакта двух сред, где происходит обмен теплом, импульсом и влагой. Потоки тепла и импульса через поверхность океана модулируются состоянием поверхности (волнение, наличие льда) и стратификацией атмосферы, которая, в свою очередь, зависит от вертикальных градиентов температуры и влажности.

Особую значимость эти процессы приобретают в полярных районах, где наличие морского льда коренным образом трансформирует энергетический баланс. Ледяной покров действует как изолятор, резко сокращая потоки тепла из океана в атмосферу зимой, но также обладает высоким альбедо, отражая солнечную радиацию летом. Изменение площади и толщины льда запускает мощные климатические обратные связи: сокращение ледового покрова ведет к усилению поглощения тепла океаном, что дополнительно нагревает атмосферу (арктическое усиление). В полярных условиях стратификация нижних слоев атмосферы часто устойчива из-за выхолаживания, что ограничивает вертикальный обмен, при этом разводья и полыньи создают контрастные очаги интенсивной конвекции и теплопотерь.

В прибрежных зонах взаимодействие атмосферы и океана осложняется влиянием суши и мелководья. Речной сток создает градиенты солёности, влияющие на вертикальную устойчивость вод и, как следствие, на перемешивание. Сгонно-нагонные явления, вызванные касательным напряжением ветра (потоком импульса), приводят к апвеллингу — подъёму глубинных вод, что резко меняет температуру поверхности и потоки тепла. Прибрежная топография и перепады температур «суша-море» формируют локальные циркуляции (бризы), модифицирующие структуру пограничного слоя.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 24-17-00155.

Численный прогноз погоды и близкие проблемы моделирования турбулентности и климата: современное состояние и дальнейшее развитие

Ривин Г.С.^{1,2}, Розинкина И.А.^{1,2} и сотрудники ОЧКП¹

¹Гидрометцентр России, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

gdaly.rivin@mail.ru

Ключевые слова: конфигурация модели, модель атмосферы, моделирование климата, метод крупных вихрей моделирования турбулентных течений, численный прогноз погоды

В настоящее время в численном прогнозе погоды продолжается тихая революция, о которой мало знают даже многие специалисты в близких областях. В докладе предполагается обсудить современное состояние, качество и тенденцию развития численного прогноза погоды в мире и возможность проведения исследований близких проблем турбулентности и климата с моделью ICON и ее российскими конфигурациями. Бесшовная модель ICON разработана совместно сотрудниками Немецкой службы погоды и Метеорологического института им. Макса Планка (г. Гамбург, Германия) для численного прогноза погоды, моделирования климата и крупных вихрей турбулентных процессов. Основная особенность модели ICON состоит в том, что моделируется смесь сухого воздуха и трех фазовых состояний воды. Кроме того, для уменьшения шага сетки можно использовать метод телескопизации с двухсторонним взаимодействием. В январе 2024 г. эта бесшовная практически для всех временных и пространственных масштабов модель стала открытой для общего применения и развития (<https://www.icon-model.org/>). Предполагается продемонстрировать (1) результаты применения российских конфигураций ICON-Ru (Ru – Russia) модели ICON, разработанных в Отделе численного краткосрочного прогноза (ОЧКП) Гидрометцентра России, как для оперативных, т.е. рекомендованных к применению Центральной методической комиссией Росгидромета по прогнозированию, так и для экспериментальных численных прогнозов погоды и (2) обсудить опубликованные в основном разработчиками модели ICON результаты моделирования климата и исследования турбулентности путем прямого расчета содержащих основную энергию крупных вихрей.

Оценка зоны охвата (footprint) турбулентных измерений в условиях сложной орографии арктической тундры (на примере острова Самойловский)

Согачев А.Ф.^{1,2}, Чечин Д.Г.², Репина И.А.²

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

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
andreysogachev@gmail.com*

Ключевые слова: пограничный слой атмосферы, турбулентность, вертикальные турбулентные потоки, парниковые газы, зона охвата измерений, криолитозона

Точная интерпретация данных измерений турбулентных потоков над неоднородной поверхностью требует знания области их формирования — футпринта. Стандартные аналитические методы, применяемые для однородного ландшафта, могут давать существенные ошибки в реальных условиях со сложным рельефом.

В работе проводится сравнительный анализ двух подходов к оценке футпринта для измерительного комплекса на острове Самойловский (дельта Лены): 1) классического аналитического метода и 2) двумерного численного моделирования с использованием специализированной модели пограничного слоя (SCADIS), учитывающей реальную орографию, распределение типов поверхности и термокарстовые озера.

Аналитическая модель предсказывает, что ~88% сигнала формируется в пределах острова, игнорируя влияние рельефа. Численное моделирование выявило сильную анизотропию зоны охвата, определяемую направлением ветра. Обнаружен критический вклад орографических особенностей (обрывов, озер): при ветрах с востока/юга до 30% измеряемого сигнала может поступать с водной поверхности за пределами острова, что не улавливается аналитическими решениями. При этом ветры с севера/запада обеспечивают формирование >90% сигнала в пределах острова.

Результаты наглядно демонстрируют ограниченность упрощенных аналитических оценок футпринта для станций в условиях сложной арктической топографии. Для корректного анализа данных мониторинга энерго- и массообмена необходимо использование моделей, явно учитывающих орографию. Работа подчеркивает важность учета пространственной неоднородности при планировании измерительных сетей и интерпретации их данных в криолитозоне.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-17-00155.

Развитие модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ и ее участие в проекте WP-MIP

Толстых М.А.^{1,2}, Фадеев Р.Ю.^{1,2,3}, Шашкин В.В.^{1,2}, Гойман Г.С.^{1,3,2}, Зарипов Р.Б.², Алипова К.А.^{2,1},
Мизяк В.Г.², Рогутов В.С.², Бирючева Е.Н.

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Гидрометцентр России, Москва, Россия

³Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия
mtolstykh@mail.ru

Ключевые слова: модель общей циркуляции атмосферы, численный прогноз погоды

Гидродинамическая модель общей циркуляции атмосферы ПЛАВ, разработанная в Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН и Гидрометцентре России, применяется для оперативных детерминистических и ансамблевых прогнозов в Гидрометцентре России с заблаговременностью от дня до сезона.

В докладе представлены усовершенствования описания неадиабатических процессов в модели, выполненные в 2025 году, и результаты ансамблевых долгосрочных прогнозов по историческим начальным данным. Показано, что точность воспроизведения среднемесячной и среднесезонной атмосферной циркуляции, в частности, осадков, в усовершенствованной версии повышена.

Отдельно рассмотрено воспроизведение спектра кинетической энергии в версии модели ПЛАВ с разрешением около 10 км.

Модель ПЛАВ участвует в проекте Всемирной метеорологической организации по сравнению моделей прогноза погоды WP-MIP, в рамках которого в том числе рассчитываются прогнозы различных моделей по одинаковым начальным данным Европейского центра среднесрочных прогнозов (ЕЦСПП). Будут представлены предварительные результаты численных экспериментов в рамках WP-MIP.

Развитие версии модели ПЛАВ для долгосрочного прогноза выполняется в Гидрометцентре России за счет гранта РНФ 25-17-00314.

Влияние облачно-радиационных и аэрозольно-радиационных связей на точность воспроизведения атмосферной циркуляции моделью

ПЛАВ

Фадеев Р.Ю.^{1,2,3}, Толстых М.А.^{1,2,3}, Бирючева Е.О.², Гойман Г.С.^{1,2,3}

¹*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия*

²*Гидрометцентр России, Москва, Россия*

³*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),*

Долгопрудный, Россия

rost.fadeev@gmail.com

Ключевые слова: динамика атмосферы, численное моделирование, долгосрочный прогноз, параметризации атмосферных процессов, радиация

Представлены результаты исследования точности воспроизведения атмосферной циркуляции усовершенствованной версией модели ПЛАВ, в которой блок параметризованного описания распространения коротковолновой и длинноволновой радиации заменены на свободно распространяемую параметризацию ecRad. В ПЛАВ также добавлена возможность использования данных о содержании аэрозолей в атмосфере Земли на базе реанализа CAMS. Оценка точности описания динамики атмосферы проводилась на годовом и сезонном масштабах. Показано, что усовершенствованная и настроенная модель точнее воспроизводит среднегодовое и среднесезонное поле осадков, а также потоки тепла на поверхности. Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 25-17-00314.

Турбулентность, вихри, струйные течения и структурные переходы в квазигеострофических гидродинамических экспериментах

Чхетиани О.Г., Гледзер Е.Б., Гледзер А.Е., Хапаев А.А.

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

Ключевые слова: лабораторное моделирование, атмосферная циркуляция, волны Россби, блокинг, численная валидация

Представлены основные результаты, принципы и эволюция лабораторного гидродинамического экспериментального моделирования крупномасштабных атмосферных движений, проводимых в Институте физики атмосферы, начиная с 70-х годов 20-го века по настоящее время.

От иллюстрации переходов между стационарными решениями в простейших системах гидродинамического типа в замкнутых эллипсоидальных полостях, заполненных нейтральной или проводящей жидкостью, предложенными А.М. Обуховым, и открытия фундаментального явления эллиптической неустойчивости до развитого исходно Ф.В. Должанским магнитогидродинамического метода воспроизводства турбулентных и сдвиговых течений – от плоского периодического течения Колмогорова и режимов автоколебаний до достаточно сложно-устроенных исходных или постоянно поддерживаемых состояний.

На современном этапе исследований для уточнения и поиска эффективных экспериментальных параметров нами активно используется параллельная численная модель эксперимента, построенная в приближении мелкой воды с учётом возможных условий генерации движений вместе с детальным количественным и качественным анализом наблюдаемых режимов. Здесь были впервые определены и обнаружены критерии возникновения блокинговых состояний, трансформаций и стационарирования волн Россби, эффекты проявления циклон-антициклонной асимметрии, нелинейного экмановского трения, явления обратного каскада с возникновением вихревого конденсата в режимах суб- и супер-ротации, формирование крупномасштабных струйных течений и множественных различающихся режимов баротропной циркуляции, аномалии зональных потоков в аналогах ячеек Хэдли и Ферреля, эффекты влияния уединённых центров действия, возможности воспроизводства эффектов бароклинности и рельефа.

Работа выполнена при финансовой поддержке ИФА им. А.М. Обухова РАН в рамках государственного задания: № 125020501536-2.

Сравнение турбулентных потоков тепла и импульса над различными типами подстилающей поверхности в степях Калмыкии

Шишов Е.А.¹, Воловцов А.А.²

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

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

shishov.yegor@gmail.com

Ключевые слова: приземный слой, турбулентность, поток тепла, поток импульса

В летней экспедиции 2025 года в степях Калмыкии были проведены полевые измерения турбулентных потоков тепла и импульса. Измерения производились при помощи акустических анемометров Metek, установленных на двух десятиметровых мачтах. Первая измерительная точка находилась в центре песчаного бархана размером примерно 300 на 900 метров. Вторая точка была расположена в 250 метрах от первой, на ровном участке с типичной степной поверхностью, покрытой пожухлой травой. Регистрация велась на протяжении десяти суток с небольшими перерывами.

Потоки были рассчитаны пульсационным методом для получасовых интервалов записи. В разные дни экспедиции поток импульса над барханом мог быть как выше, так и ниже, чем над степью. Иногда отношение «переворачивалось» в течение дня. Ночью же потоки импульса были практически одинаковыми. Разница между потоками тепла в двух точках также имела суточных ход, но он имел другой характер. Дневные потоки тепла над барханом были стабильно выше, чем над степью (примерно в 1,3 раза). Ночью ситуация была менее однозначной: потоки тепла могли отличаться не только величиной, но и знаком.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 25-17-00346)

Воспроизведение режимов крупномасштабной атмосферной циркуляции в климатических моделях

Бабанов Б.А.¹, Семенов В.А.^{1,2}

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

²Институт географии РАН, Москва, Россия

babanov@ifaran.ru

Ключевые слова: погодные режимы, CMIP6, ERA5, Евро-Атлантика, тренды повторяемости

Проанализировано воспроизведение характеристик режимов крупномасштабной атмосферной циркуляции (погодных режимов) климатическими моделями из проекта CMIP6 по данным исторических экспериментов (historical). Погодные режимы получены для зимних и летних сезонов в регионах Евро-Атлантики и Северной Евразии по единой методике кластеризации суточных полей высот геопотенциальной поверхности на уровне 500 гПа. Получены оценки воспроизводимости полей и трендов повторяемости модельных погодных режимов относительно данных реанализа ERA5 за общий период 1950–2014 гг. Лучше прочих воспроизводятся зимние погодные режимы в Евро-Атлантике, однако положительный тренд повторяемости NAO+, полученный по ERA5, не воспроизводится в моделях, при этом воспроизводятся положительные тренды летних режимов Скандинавского блокинга в Евро-Атлантике и Уральского максимума в Северной Евразии.

Моделирование болотных экосистем в модели деятельного слоя суши TerM

Богомолов В.Ю.^{1,2,3}, Рязанова А.А.¹, Степаненко В.М.^{2,4}, Аббазов А.Э.³, Дюкарев Е.А.^{1,5}

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

²*Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

³*Геолого-географический факультет Томского государственного университета, Томск, Россия*

⁴*Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

⁵*Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия*

verminrus@mail.ru

Ключевые слова: болотные экосистемы, модели деятельного слоя суши, углеродный цикл, торфяные почвы, микрорельеф

Существенный интерес к болотным экосистемам вызывает их роль в балансе углерода суши. При этом болотные экосистемы являются частью поверхности суши с существенно отличающимися гидрофизическими свойствами и физическими параметризациями от других минеральных почв. Также отличаются и типы растительности, произрастающие на болотах по их вкладу в углеродный цикл и в водный баланс. Болота имеют свои специфические типы растительности такие как мхи и лишайники, влияющие на тепломассоперенос в верхнем слое болотного комплекса. На данный момент при грубых разрешениях в моделях ДСС болота могут занимать очень маленькую долю при осреднении в ячейке. В результате этого осреднения получаемые параметры почвы становятся далекими от параметров торфов, что существенно искажает распределения температуры, влажности и накопленного углерода в почве. Даже если в ячейке расчетной сетки будут заданы параметры, описывающие торфяные почвы, сам подход осредненного описания болота приведет к потере распределения микрорельефов болот, таких как топи, мочажины и рямы. Эти неопределённости на прямую влияют на воспроизведение парниковых газов и скорости депонирования углерода в болотных массивах. Этим вопросом в рамках развития блока болот в TerM и будет посвящен доклад.

Оценки эффективного и мгновенного радиационного форсинга для климатической модели ARTS-ESM-L, полученные в рамках проекта CMIP7

Брагина В.В.^{1,2}, Володин Е.М.¹

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Гидрометцентр России, Москва, Россия

V.Vorobyeva@yandex.ru

Ключевые слова: климатическая модель, CMIP, эффективный радиационный форсинг, мгновенный радиационный форсинг, парниковые газы, аэрозоли, антропогенные воздействия, естественные воздействия

Представлены результаты расчетов по вычислению эффективного (ERF) и мгновенного (IRF) радиационного форсинга для климатической модели ARTS-ESM-L. Расчеты проведены в рамках новой фазы международного проекта по сравнению климатических моделей CMIP7 [1], результаты которого войдут в очередной оценочный доклад МГЭИК. ERF является основной метрикой для оценки изменения радиационного баланса на верхней границе атмосферы вследствие антропогенных и естественных воздействий на климат [2]. С моделью ARTS-ESM-L проведена серия экспериментов piClim-* в режиме AMIP. На основе таких экспериментов сделаны оценки ERF на 2021г. для каждого антропогенного воздействия (углекислого газа, метана, закиси азота, озона, эмиссии SO₂, черного углерода и органических аэрозолей, землепользования), а также для всех антропогенных аэрозолей и всех антропогенных воздействий в целом. Для оценок изменений ERF в течение всего исторического периода 1850-2021гг. от антропогенных аэрозолей в целом и всех антропогенных воздействий вместе, с моделью проведены эксперименты piClim-histaer и piClim-histall.

Кроме того, в режиме совместной модели проведены исторические расчеты 1850-2021гг. по определению воздействий только парниковых газов(hist-GHG), только антропогенных аэрозолей(hist-aer) и только естественных воздействий(hist-nat). Оценивается изменение приземной температуры и форсинга вследствие указанных факторов.

В отличие от ERF, мгновенный радиационный форсинг(IRF) – внешне обусловленное первоначальное изменение радиационного баланса, не учитывающее различные механизмы быстрого приспособления атмосферы [2]. Для климатической модели ARTS-ESM-L вычислен IRF вследствие учетверения концентрации углекислого газа по сравнению с преиндустриальным уровнем.

Интегральные значения, пространственные и вертикальные распределения радиационных форсингов сравниваются с результатами климатических моделей, участвовавших в проектах CMIP5 и CMIP6.

Работа выполнена в ИВМ РАН при поддержке РНФ (грант № 25-17-00203).

Литература:

1. Dunne J., Hewitt H., Arblaster J. M. et al. An evolving Coupled Model Intercomparison Project phase 7 (CMIP7) and Fast Track in support of future climate assessment // Geoscientific Model Development. 2025. Vol. 18. P. 6671-6700. DOI:10.5194/gmd-18-6671-2025
2. Smith C. J., Kramer R. J., Myhre G. et al. Effective radiative forcing and adjustments in CMIP6 models // Atmospheric Chemistry and Physics. 2020. Vol. 20. № 16. P. 9591–9618. DOI: 10.5194/acp-20-9591-2020

Модель климатической системы ARTS-ESM

Володин Е.М.^{1,2}, Черненко А.Ю.^{1,2}, Брагина В.В.^{1,3}, Тарасевич М.А.¹

¹*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия*

²*Институт географии РАН, Москва, Россия*

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

volodinev@gmail.com

Ключевые слова: модель, климат, атмосфера, океан, аэрозоли, углеродный цикл

Рассматривается модель климатической системы, созданная на основе семейства моделей климата INMCM. Наиболее существенные изменения по сравнению с предыдущей версией произошли в блоке атмосферных параметризаций, численных схемах в динамике океана и морского льда, учете радиационных свойствах аэрозолей. Для участия в CMIP7 используется две версии этой модели: с более грубым пространственным разрешением - 2x1.5 градуса в атмосфере и 1x0.5 градуса в океане, версия ARTS-ESM-L, и со средним пространственным разрешением: 1.25x1 градус в атмосфере и 0.5x0.25 градуса в океане, версия ARTS-ESM-M. С версией ARTS-ESM-L проведена серия экспериментов, входящих в CMIP7 Fast Track: преиндустриальный, исторический, включая расчет с интерактивным углеродным циклом, эксперименты по оценке эффективных радиационных форсингов, и другие методические эксперименты. Показано, что равновесная чувствительность климата, неравновесный отклик, а также эффективный радиационный форсинг вследствие удвоения концентрации CO₂ в рассматриваемой версии заметно возросли по сравнению с версией для CMIP6. Рассматривается воспроизведение современного климата и некоторые особенности воспроизведения наблюдаемых изменений климата в 1850-2021г.

Изменения гидротермических экстремумов на территории Сибири в XX–XXI вв.

Воропай Н.Н.^{1,2}, Рязанова А.А.¹

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

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

voropay_nn@mail.ru

Ключевые слова: гидротермические экстремумы, индекс засушливости, многолетние изменения, тренд, Сибирь, атмосферная циркуляция

Особенность исследования климатических характеристик в орографически сложных районах заключается в необходимости учета большого количества факторов, оказывающих влияние на формирование климата. Для АТР в пределах координат (49–80°с.ш. 60–140°в.д.) по скорректированным данным температуры воздуха (<https://zenodo.org/record/5594045>) и сумм атмосферных осадков (<https://zenodo.org/record/4472614>) проведена оценка изменений гидротермических индексов, наиболее часто используемых в последние годы в России и за рубежом (SPI, SPEI индекс засушливости Педя S, ГТК). Рассмотрены изменения засушливости за исторический период ($E_{га5_{\text{когг}}}$ в пределах 1940–2025 гг.) и по ансамблю моделей для сценариев ssp1-2.6 и ssp5-8.5 (CMIP6_{когг} до 2050 г.) для отдельных месяцев и вегетационного периода. Оценены тенденции изменения, повторяемость, продолжительность засух и периодов переувлажнения различной интенсивности. Согласно результатам расчета, положительным, статистически значимым трендом засушливости за 1991–2020 гг. характеризуются Прибайкалье, Забайкалье, горы Южной Сибири и северные районы Восточной Сибири. Причем в предыдущее 30-летие значимые положительные тенденции фиксировались на меньших площадях, а в горных районах тренды были отрицательными. Можно отметить, что в 1961–1990 гг. повторяемость периодов экстремального переувлажнения превышала повторяемость экстремальных засух. Положительный многолетний тренд индекса засушливости привел к тому, что в 1991–2020 гг. во всех ячейках сетки фиксируется только 0–1 случай экстремального переувлажнения. Повторяемость же экстремальных засух в некоторых районах составляет 2–3 случая за период, при том, что это результаты для среднего за вегетационный сезон значения индекса. Анализ экстремумов за отдельные месяцы показывает, что на некоторых территориях повторяемость экстремальных засух достигает до 4 случаев за последние 30 лет. В работе показана связь изменений индекса засушливости с характеристиками атмосферной циркуляции.

Изменения условий холодого дискомфорта в Арктике по данным метеорологических станций

Горбунова Д.А.^{1,2}

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

²Институт географии РАН, Москва, Россия

gorbunovushka@gmail.com

Ключевые слова: российская Арктика, изменение климата, биоклиматические условия, риски для здоровья, адаптация регионов

В работе исследуется влияние изменения климата на биоклиматические условия прибрежных территорий Российской Арктики, анализируется степень пригодности климатических условий для проживания и рекреации, а также динамика биоклиматических показателей на фоне глобального потепления. Результаты свидетельствуют о том, что климат по данным метеостанций городов прибрежной зоны Российской Арктики становится менее жестким и более комфортным. Но несмотря на то, что стремительные изменения климата в Арктике положительно влияют на улучшение комфортности этого региона, в будущем может также наблюдаться и ухудшение медико-эпидемиологической ситуации в регионах с более высокой скоростью роста приземной температуры воздуха (активизация природно-очаговых и инфекционных болезней также связана прежде всего с климатическими изменениями), поэтому рекомендуется разработать региональную программу действий, нацеленную на снижение возможных рисков для здоровья населения в этих регионах, программа должна быть адаптирована к конкретным условиям каждого региона Арктики, включая особенности эпидемиологической ситуации, биоклиматической характеристики, состояния здоровья различных групп населения (особенно коренных народов) и возможности местной системы здравоохранения.

Исследование предсказуемости крупномасштабных атмосферных и гидрологических процессов на интервалах год-десятилетие с использованием модели Земной системы INM-CM5/6

Грицун А.С., Володин Е.М., Брагина В.В., Тарасевич М.А.

Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

asgrit@mail.ru

Ключевые слова: модель Земной системы, сверхдолгосрочный прогноз, предсказуемость

В докладе рассматривается задача прогноза состояния климатической системы Земли на временных масштабах от года до десятилетия. Основным методом решения поставленной задачи является проведение ансамблевых численных экспериментов с моделью Земной системы INM-CM6 [1], разработанной в Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН. Формат экспериментов и сценарии изменения внешних воздействий на климатическую систему (концентрации парниковых газов, аэрозолей, солнечной постоянной и т.д.) определяется протоколами проекта DCPP (десятилетний климатический прогноз) программы сравнения климатических моделей CMIP6/7. В докладе обсуждается качество прогностической системы в сравнении с ансамблем исторических хиндкастов [1], системой, основанной на предыдущей версии модели [2], влияние на качество прогноза методик подготовки начальных данных и процедуры формирования ансамбля начальных состояний.

Литература:

1. Gritsun, Andrey S., Volodin, Evgeny M., Bragina, Vasilisa V. and Tarasevich, Maria A.. Simulation of modern and future climate by INM-CM6M. Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling 39, no. 6 (2024): 329-341
2. Vorobeva, V.V., Volodin, E.M., Gritsun, A.S. et al. Analysis of the Atmosphere and the Ocean Upper Layer State Predictability for up to 5 Years Ahead Using the INMCM5 Climate Model Hindcasts. Russ. Meteorol. Hydrol. 48, 581–589 (2023).

Реконструкция спектральной климатологии ветрового волнения в Северной Атлантике на основе судовых наблюдений (1970-2024)

Гулев С.К., Григорьева В.Г.

Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия

gul@sail.msk.ru

Ключевые слова: визуальные наблюдения с судов, ветровые волны, Северная Атлантика, спектральная климатология, направленные спектры

Мы представляем реконструкцию спектрального климата ветровых волн Северной Атлантики за последние десятилетия, основанную исключительно на визуальных наблюдениях волн с коммерческих судов (VOS). Для реконструкции направленных спектров ветровых волн мы объединяем визуальные наблюдения с достижениями теории ветровых волн, которые позволяют построить функции направленного распространения. Комбинация функций направленного распространения со спектрами частот позволила реконструировать угловые спектры для ветровых волн, зыби и смешанных волн. Чтобы учесть пространственные и временные неопределенности выборки, присущие визуальным наблюдениям, мы обосновали пороговые значения для количества наблюдений, используемых в вычислениях. Этот подход был применен к визуальным наблюдениям волн в Северной Атлантике от 20°N до 60°N за период с 1970 по 2023 год. Первоначально реконструированные ежедневные угловые спектры ветровых волн были использованы для создания спектральной климатологии Северной Атлантики для ячеек сетки 10° и для хорошо изученных прибрежных районов с пространственным разрешением 1°. Результаты были сопоставлены с направленными спектрами, полученными из спектральной модели WWIII. Мы количественно оценили характеристики сезонной изменчивости направленных спектров с точки зрения распространения и пиковой энергии поля ветровых волн. Межгодовые изменения направленных спектров выявили изменения пиковой частоты ветровых волн в сторону более низких частот и с увеличением спектральной энергии, что подразумевает увеличение высоты ветровых волн. Эта работа расширяет потенциал визуальных наблюдений ветровых волн для анализа спектральной климатологии — диагностического инструмента, который до сих пор был доступен только при моделировании ветровых волн.

Воспроизведение механизма генерации Эль-Ниньо атмосферными возмущениями внутрисезонного масштаба в моделях CMIP6 и INM-CM6

Гущина Д.Ю., Умеренков И.А., Гвоздева А.В.

Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия
dasha155@mail.ru

Ключевые слова: Эль-Ниньо, колебания Маддена-Джулиана, экваториальные волны Россби, механизм генерации Эль-Ниньо, CMIP6, будущий климат

В предыдущих исследованиях [1] было показано, что внутрисезонная тропическая изменчивость, а именно колебания Маддена-Джулиана (КМД) и конвективно связанные экваториальные волны Россби (ЭР), играют важную роль в генерации и последующем распространении океанической волны Кельвина в экваториальном Тихом океане, которая, в свою очередь, ответственна за возникновение условий Эль-Ниньо. Однако влияние КМД и ЭР на динамику океана, во-первых, существенно различается в зависимости от типа Эль-Ниньо [2], а во-вторых, зависит от низкочастотной изменчивости среднего состояния системы океан-атмосфера в тропиках (в частности от фазы Междекадной тихоокеанской осцилляции) [3]. Это позволяет предполагать, что в будущем климате, характеризующимся существенными изменениями в системе океан-атмосфера в тропическом Тихом океане, вклад КМД и ЭР в механизм формирования Эль-Ниньо будет отличаться от современных условий.

На первом этапе выполнена валидация моделей CMIP6, способных разделять два типа Эль-Ниньо, с точки зрения воспроизведения пространственно-временной изменчивости КМД и ЭР, а также их вклада в формирование условий Эль-Ниньо. Наиболее успешной по всем параметрам оказалась модель CESM2. Она выбрана для оценок изменений механизма атмосферной генерации Эль-Ниньо в будущем климате.

По данным модели CESM2 показано, что в будущем климате (сценарий SSP5-8.5) вклад МЖО в генерацию Эль-Ниньо существенно ослабляется, особенно для событий восточного типа. При этом существенно уменьшается прогностическая значимость МЖО, так их интенсификация наблюдается всего за 1-2 месяца до кульминации Эль-Ниньо. Воздействие волн Россби в будущем климате изменяется в меньшей степени, а их вклад в формирование Эль-Ниньо центрального типа даже усиливается. В дальнейшем планируется провести оценки изменений по остальным моделям CMIP6 и определить устойчивость полученных выводов.

Литература:

1. Gushchina, D., Dewitte B. The relationship between intraseasonal tropical variability and ENSO and its modulation at seasonal to decadal timescales // Cent. Eur. J. Geosci. 2011, V.1(2). P.175-196,
2. Gushchina D., Dewitte B. Intraseasonal tropical atmospheric variability associated to the two flavors of El Niño // Monthly Weather Review. 2012. Vol. 140, no. 11. P. 3669–3681.
3. Gushchina D., Dewitte B. Decadal modulation of the relationship between intraseasonal tropical variability and ENSO // Clim Dyn, 2019. Vol. 52. P.2091–2103.

О создании однородного ряда приземной температуры воздуха в ГМО «Баренцбург» (Шпицберген) по данным ранней серии измерений на норвежской метеорологической станции «Green Harbor» (1911-1930 гг.)

Демин В.И.¹, Иванов Б.В.^{2,3}, Карандашева Т.К.², Священников П.Н.², Колосова М.В.²,
Масловский А.С.²

¹Полярный Геофизический институт, Апатиты, Россия

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

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
b_ivanov@aari.ru

Ключевые слова: Шпицберген, Баренцбург, приземная температура воздуха

На примере российских и норвежских метеорологических станций, осуществляющих регулярные инструментальные наблюдения на архипелаге Шпицберген, показано влияние ледовых условий во фьордах на термический режим прилегающих территорий суши. Предложена методика для приведения значений среднемесячной температуры воздуха на норвежской метеостанции «Green Harbor» (мыс Финнесет, залив Грен-фьорд) в период 1911-1930 гг. к показаниям российской метеорологической станции (гидрометеорологическая обсерватория «Баренцбург») в российском шахтерском поселке Баренцбург. Методика учитывает особенности формирования ледового покрова в заливе Грен-фьорд. Использование предложенных поправок в значения приземной температуры воздуха, полученных на метеорологической станции «Green Harbor», позволяет создать композитный ряд для Баренцбурга, начинающийся с декабря 1911 г. Статистическими тестами показано отсутствие в данном ряду методической неоднородности.

Диагностика и моделирование климатические изменения разных эпох и вклада различных процессов в эти изменения

Елисеев А.В., Акперов М.Г., Аржанов М.М., Денисов С.Н., Чернокульский А.В., Мурышев К.Е., Парфенова М.Р., Бабанов Б.А., Бугримов А.В., Нарижная А.И., Плосков А.Н., Тимажев А.В., Блинов П.Д., Ныров А.О.

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

eliseev@ifaran.ru

Ключевые слова: климат, диагностика, моделирование, причины изменений

Анализ климатических изменений и вклада различных процессов в них - одна из ключевых задач современного естествознания. Такие исследования относятся к основным задачам, решаемым в Лаборатории теории климата (ЛТК) ИФА им. А.М. Обухова РАН.

В ЛТК разработана и развивается модель Земной климатической системы (МЗС ИФА РАН). Она включает в себя блоки, описывающие состояние атмосферы, океана, деятельного слоя суши, биогеохимические циклы, и ряд процессов, связанных с атмосферным электричеством и химией атмосферы. Она относится к классу климатических моделей промежуточной сложности (МПС) и участвует в соответствующих международных проектах сравнения. Особенностью модели является параметризация синоптической изменчивости в атмосфере и океане, позволяющая ускорить вычисления на два порядка. Модель реалистично воспроизводит изменения климата за период инструментальных измерений и может использоваться для оценок прошлых и будущих изменений климата на временных масштабах от десятилетий до тысячелетий. С использованием МЗС ИФА РАН впервые в мире получен ряд важных результатов, связанных с выявлением причин изменения климата в разные эпохи, анализом влияния на климатические изменения биогеохимических циклов, причинно-следственных связей в Земной системе, а также различных внешних природных и антропогенных факторов.

С использованием причинности по Грейнджеру также показано, что за последние 150 лет на вариации глобальной температуры влияют колебания содержания углекислого газа в атмосфере, изменения солнечной постоянной и вулканическая активность. Однако долгосрочное повышение глобальной температуры в последние десятилетия может быть объяснены только при учете антропогенного фактора за счет изменения концентрации CO_2 в атмосфере. В дальнейшем эти результаты были обобщены учётом влияния естественной изменчивости климата с сохранением основного вывода.

Представленные результаты получены при поддержке РФФ (проект 25-17-00015).

Особенности атмосферной циркуляции при волнах тепла на арх. Шпицберген

Ильющенкова И.А., Иванов Б.В.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
ilyushenkova@aari.ru

Ключевые слова: архипелаг Шпицберген, атмосфера, западная Арктика, потепление климата, синоптические условия, блокирующие антициклоны

Исследован долговременный ряд ежедневной максимальной приземной температуры воздуха в п. Баренцбург арх. Шпицберген за период 1932–2025 гг. Выявлены эпизоды волн тепла и установлена их связь с характером атмосферной циркуляции. Для идентификации волн тепла использована методика, представленная в работе [1]. Определено 48 периодов, когда температура превышала 90-й перцентиль в течение трёх и более суток. Наиболее интенсивная волна тепла наблюдалась 31.07–27.08.2024, при суммарной магнитуде 10,6, что позволяет отнести волну к категории экстремальных. В классификации значимых эпизодов выделено: 1 экстремальная волна тепла, 4 сильные, 5 умеренных и 10 слабых.

Установлено, что все волны тепла формировались при наличии крупной антициклональной области над Баренцевым и Карским морями, что приводило к нарушению зональной (западной) циркуляции атмосферы. На уровне 500 гПа отмечено развитие выраженного барического гребня над Западной Арктикой, соответствующего меридиональному типу циркуляции.

Формирование антициклональных областей дополнительно проанализировано с точки зрения возникновения блокирующих процессов по методике, предложенной в работе [2]. Идентификация блокирующих антициклонов осуществлялась на основе осреднённого потенциального вихря Эртеля (ПВ). Поскольку блокирующие антициклоны имеют баротропную структуру и характеризуются отрицательными аномалиями PV в верхней тропосфере, данный показатель является информативным индикатором блокировки. Анализ аномалий потенциального вихря выявил, что при всех эпизодах потепления наблюдались зоны отрицательного ПВ, в четырёх случаях сформировались блокирующие антициклоны, удовлетворяющие критериям: аномалия ПВ величиной менее $-1,2$ единиц, площадь области более $1,8$ млн км², продолжительность более 5 суток.

Полученные результаты подтверждают, что усиление меридиональной атмосферной циркуляции и формирование антициклональных блокировок являются ключевыми факторами возникновения и удержания тепловых волн в западной Арктике.

Литература:

1. Russo S., Sillmann J., Fischer E. M. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environmental Research Letters*, 2015, vol. 10, no. 12, pp. 124003. DOI: 10.1088/1748-9326/10/12/124003.
2. Schwierz C., Croci-Maspoli M., Davies H. C. Perspicacious indicators of atmospheric blocking. *Geophysical research letters*, 2004, vol. 3, no. 6. L06125. DOI: 10.1029/2003GL019341.

Крупномасштабные особенности поля влажности почвы по данным станционных наблюдений, реанализа ERA-5 и начальным данным анализа модели ПЛАВ на территории Черноземной зоны России

Кланг П.С., Тарасова Л.Л., Хан В.М.,

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия
polinaklang@gmail.com

Ключевые слова: влажность почвы, верификация данных моделирования

Адекватное воспроизведение влажности почвы в численных моделях погоды и климата критически важно для повышения качества прогнозов. Однако верификация модельных данных существенно затруднена из-за отсутствия репрезентативных и территориально привязанных рядов инструментальных наблюдений. В России наблюдения за влажностью почвы на агрометеорологической сети Росгидромета ведутся десятилетиями, однако специфика этих данных (измерения под сельскохозяйственными культурами, дискретность) долгое время ограничивала их использование для валидации климатических моделей и реанализов.

Авторами впервые сформирована база данных запасов продуктивной влаги под озимыми и ранними яровыми зерновыми и зернобобовыми культурами в слоях почвы 0-20, 0-50 и 0-100 см с апреля – сентябрь 2004-2025 года на территории Черноземной зоны России по данным 240 станций наблюдательной сети с декадным разрешением. Выполнена процедура преобразования величин продуктивной (доступной растениям) влаги в значения полной (общей) влажности почвы для обеспечения корректности сравнения с модельными данными.

В работе сопоставлены ряды влажности почвы станционных наблюдений с данными европейского реанализа пятого поколения (ERA5), а также с начальными данными влажности почвы модели ПЛАВ версии для среднесрочных прогнозов, в которой процессы в почве описываются многослойной моделью ИВМ-РАН МГУ. Авторами были оценены крупномасштабные особенности поля влажности почвы по различным модельным данным по районам Черноземной зоны России за 21 вегетационный сезон. Определены районы Черноземной зоны, где модель ПЛАВ и реанализ ERA5 демонстрируют наилучшее соответствие станционным данным, а также зоны, требующие дополнительной настройки параметризаций почвенных процессов и начальных полей.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект № 25-17-00314, <https://rscf.ru/project/25-17-00314>.

Моделирование регионального климата Северной Евразии с использованием новой схемы тепло- и влагообмена суши с атмосферой

Козлов А.В., Школьник И.М., Павлова Т.В.

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
a-v-kozlov@inbox.ru*

Ключевые слова: региональная климатическая модель, снежный покров, речной сток, многолетняя мерзлота

Успешность моделирования климатических и гидрологических характеристик высокоширотных регионов в значительной степени определяется качеством параметризации процессов тепло- и влагообмена на поверхности суши. Особую роль играют процессы формирования и эволюции снежного покрова, а также фазовые переходы влаги в сезонно- и многолетнемёрзлых грунтах, оказывающие существенное влияние на энергетический и водный баланс подстилающей поверхности. В работе представлены результаты развития региональной климатической модели (PKM) ГГО за счёт внедрения новой схемы тепло- и влагообмена суши с атмосферой MGOLSM (v1.1). В отличие от используемой ранее, новая схема обеспечивает раздельное моделирование снежного покрова и почвенного профиля и включает описание эволюции плотности и альбедо снега, удержания жидкой воды в толще снега, а также фазовых переходов почвенной влаги.

Сравнение результатов моделирования с данными наблюдений за период 1990–2012 гг. для 18 водосборов на территории Северной Евразии показывает, что использование MGOLSM позволяет воспроизводить сезонную изменчивость снегозапаса, осадков и температуры поверхности суши. Для расчета речного стока используется гидродинамическая модель CaMa-Flood [2], входными данными для которой служат результаты расчетов по PKM. Сравнение с данными наблюдений на 44 гидрологических постах показывает, что PKM с новой схемой обеспечивает удовлетворительную согласованность результатов расчетов с наблюдаемыми значениями расходов воды в руслах рек.

Рассматриваются результаты применения обновлённой версии схемы MGOLSM (v2), в которой реализовано более детальное описание процессов тепло- и влагопереноса в мерзлых грунтах. Сравнение модельных оценок температуры почвы и глубины промерзания/протаивания грунта с данными наблюдений на 23 экспериментальных площадках показывает более высокое качество расчета эволюции термического режима почв по сравнению с MGOLSM v1.1.

Литература:

1. Kozlov A. V., Shkolnik I. M., Pavlova T. V. Validation of the MGO regional climate model with a new parameterization of land surface processes //Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. – 2025. – Т. 40. – №. 2. – С. 107-119.
2. Yamazaki D. et al. A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model //Water Resources Research. – 2011. – Т. 47. – №. 4.

Исследование линейности и обратимости отклика климатической системы на выбросы CO₂, заданные по протоколам ESM-FLAT10, в модели земной системы ИВМ РАН

Кострыкин С.В.^{1,2}Тарасевич М.А.¹, Черненко А.Ю.¹, Володин Е.М.¹

¹*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия*

²*Институт глобального климата и экологии им. Ю.А. Израэля, Москва, Россия*

s_kostr@mail.ru

Ключевые слова: модель земной системы, углеродный цикл, асимметрия климатического отклика

Одним из способов смягчения воздействия глобального потепления климата на Земную систему в будущем, является поглощение углекислого газа из атмосферы и его последующее захоронение. Важным вопросом, возникающем при использовании данного метода геоинженерии, является обратимость отклика климатической системы на симметричный по времени источник эмиссии-стока CO₂ в атмосферу. Данный вопрос, а также линейность отклика глобальной приземной температуры на кумулятивные выбросы CO₂ изучается в рамках проекта CMIP7 ESM-FLAT10 с помощью модели Земной системы ИВМ РАН с интерактивным углеродным циклом. Приводится сравнение результатов экспериментов с данными других моделей Земной системы и климатических моделей промежуточной сложности.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ №25-17-00203.

Моделирование эффектов временных запаздываний в механизмах обратных связей климатической системы на примере концептуальной модели с учетом углеродного цикла

Кравец К.А., Гусакова М.А., Солдатенко С.А.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
kakravets@aari.ru

Ключевые слова: климатическая система, временные запаздывания, обратные связи, энергобалансовая модель, углеродный цикл, устойчивость

Существенную роль в формировании динамики и отклика климатической системы на внешние воздействия играют временные запаздывания. Механизмы этих запаздываний связаны с тепловой инерцией океана и криосферы, биогеохимическими циклами, а также обратными связями в системе атмосфера – океан – криосфера – углеродный цикл. В докладе систематизируются представления о природе временных запаздываний, рассматриваются подходы к их идентификации, а также демонстрируется влияние лаг-эффектов на устойчивость стационарных решений концептуальной климатической модели. Используемая концептуальная модель представляет собой двухслойную энергобалансовую модель с включением в нее глобального углеродного цикла в упрощенной формулировке. Результаты демонстрируют важность учета запаздываний для адекватного моделирования эволюции климатической системы и прогнозирования долгосрочных изменений климата.

Численное моделирование верхней атмосферы и ионосферы

Кулямин Д.В.^{1,2}, Дымников В.П.^{1,2}

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, Москва, Россия

kulyamind@mail.ru

Ключевые слова: средняя и верхняя атмосфера, ионосфера, термосфера, численное моделирование, модели общей циркуляции атмосферы

В докладе представлен обзор проблемы численного моделирования глобального состояния и динамики верхних слоев атмосферы и ионосферы, описаны основные особенности и подходы к моделированию верхней атмосферы, развиваемые в Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской академии наук. Кратко представлены созданные в рамках разработки комплексной модели Земной системы модели атмосферы и ионосферы и результаты воспроизведения ключевых физических особенностей верхних слоев.

Климатически обусловленные изменения в криолитозоне и их влияние на величину эмиссии CH_4 пресноводными экосистемами Пур-Тазовского междуречья

Ларина А.В., Гаврилов Г.О., Казанцев В.С.

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

a.larina@ifaran.ru

Ключевые слова: метан, парниковые газы, изменение климата, многолетнемерзлые породы, тундра, криолитозона, хасыреи, болота, озера

Изменение среднегодовой температуры воздуха в высоких северных широтах вдвое интенсивнее среднего по планете [1]. Современное изменение климата связывают с удержанием тепловой энергии в атмосфере парниковыми газами (ПГ).

Один из наиболее эффективных ПГ – метан (CH_4) образуется при анаэробном разложении органического вещества. Так, пресноводные экосистемы суши обуславливают около 1/3 его глобальной годовой эмиссии [2].

Северная часть Западной Сибири – одного из наиболее заболоченных регионов мира – находится в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП), в чьей толще сосредоточены значительные запасы органического вещества.

На исследуемом нами участке в южной тундре Западной Сибири, наблюдаемое изменение среднегодовой температуры воздуха составило за 60 лет (1960–2020) $+0.5^\circ\text{C}/10$ лет. В ответ на эти изменения на участке наблюдается развитие ряда процессов:

1. Удлинение периода со среднесуточной температурой воздуха выше 10°C на 3.6 дней/10 лет;

2. Мощность деятельного слоя ММП растет со скоростью 15–20 см/10 лет [3];

3. Латеральное таяние ММП вызывает заболачивание, смену растительных сообществ, сопровождающиеся изменением альбедо поверхности и теплофизических характеристик почвы;

4. Образование подозерных таликов влечет осушение озер, площадь которых, по данным спутниковых снимков Landsat-7, с 2000 по 2020 уменьшилась на 13.4%.

Эти изменения сказываются на величинах удельных потоков метана (УПМ) и региональной эмиссии CH_4 . На ненарушенных участках полигональных болот медианная величина УПМ составляет $-0.01 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, в то время как на обводненных – $1.7 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$. Также медиана УПМ для озер составляет $0.4 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, тогда как на хасыреях на порядок выше — $4.6\text{--}5.6 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Так, изменение ММП под влиянием климатического фактора способствует высвобождению органического вещества из мерзлых толщ в виде парникового газа – метана.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 1024100700065-0-1.5.10.

Литература:

1. Saunois, M., Martinez, A., Poulter B. [et al.] Global methane budget 2000–2020 //Earth System Science Data. – 2025. – Vol. 17. – № 5. – P. 1873-1958.
2. Schuur, E.A., McGuire, A.D., Schädel, C., [et al] Climate change and the permafrost carbon feedback // Nature. – 2015. Vol. – 520. – № 7546. – P. 171–179.
3. CALM NORTH SUMMARY DATA TABLE [Washington, 1998]. – URL: <https://www2.gwu.edu/~calm/data/north.htm> (дата обращения: 10.12.2025). – Текст : электронный.

Метод эмпирического анализа дальних связей в климатической системе Земли

Лоскутов Е.М., Мурзина П.А., Мухин Д.Н., Сафонов С.Е.

Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия
loskutov@ipfran.ru

Ключевые слова: эмпирическое моделирование, моделирование климата, дальние связи

В данной работе предлагается эмпирический метод диагностики межбассейнового взаимодействия тропической части мирового Океана при помощи построения эмпирических моделей динамики ТПО в различных бассейнах. Ключевым элементом диагностики является построение эмпирических моделей двух видов: совместной и изолированных, в виде стохастических динамических систем с оператором эволюции в виде искусственной нейронной сети. Основная идея заключается в том, что в случае наличия межбассейнового взаимодействия совместная модель обеспечит более точное описание общей динамики океана, чем изолированные модели, построенные отдельно для каждого океана. Оценка точности описания динамики заключается в сравнении качества прогнозов совместной и изолированных эмпирических моделей. В работе анализировались временные ряды аномалий ТПО в тропических частях Тихого и Индийского океанов, взятых из данных реанализа ERSST и полученных из исторических экспериментов с моделями Земной системы (МЗС) ИБМ РАН версии 6.0 (INMCM60), Института Макса Планка версии MPI-ESM1.2-HR и глобальной экологической моделью Центра Хэдли версии 3.1 (HadGEM3-GC3.1-LL). Результаты моделирования выявили статистически значимые связи между рассмотренными бассейнами, позволили идентифицировать пространственные паттерны регионов с существенным влиянием межбассейновых связей и сравнить выявленные пространственные паттерны для разных МЗС и данных реанализа.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект № 23-62-10043, <https://rsci.ru/project/23-62-10043/>).

Оценка темпов деградации субаквальной мерзлоты арктического шельфа при сценариях изменения климата по данным CMIP6

Малахова В.В.^{1,2}

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

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
malax@sscc.ru*

Ключевые слова: арктический шельф, субаквальная мерзлота, антропогенное воздействие

С использованием модели термодинамических процессов в донных отложениях получены оценки состояния субаквальных многолетнемерзлых пород (СММП) шельфа морей Арктики при изменениях придонной температуры по расчётам с климатическими моделями ансамбля CMIP6 до конца 23 века. В настоящем исследовании был выбран наиболее экстремальный сценарий антропогенных воздействий SSP5-8.5 для будущего. Как результат получено пространственное распределение подводной мерзлоты на арктическом шельфе для современного и будущего периодов с учетом придонной температуры воды из расчетов с климатическими моделями CanESM5, IPSL-CM6A-LR и ACCESS-ESM1-5. Глубина залегания нижней границы мерзлых пород по результатам расчета для 2014 составила порядка 50-700 м, при этом верхняя граница мерзлого слоя расположена на глубине 12 - 50 м ниже морского дна в зависимости от области шельфа. Рост температуры придонной воды в период с 2015 по 2300 г. приводит к дальнейшему заглублению верхней границы мерзлоты. В некоторых областях (на внешнем шельфе моря Лаптевых и в Баренцевом море) многолетнемерзлые породы полностью оттаивают. Темпы деградации мерзлого слоя зависят от используемой модельной оценки температуры придонного воды. Во всех экспериментах происходит ускорение деградации СММП по сравнению с историческим периодом. Минимальные средние скорости получены в расчете с использованием данных ACCESS-ESM1-5, 5 см/год, они увеличиваются при расчете с IPSL-CM6A-LR (до 6-7 см/год) и максимальны в расчете с использованием данных CanESM5 (до 10 см/год). Тем не менее пространственное распределение скоростей деградации мерзлоты для будущего периода имеет общие особенности для всех трех расчетов. Таким образом, на основе численного моделирования получена схема распространения и глубины залегания СММП арктического шельфа. Показано, что для прогноза темпов деградации подводной мерзлоты, одним из основных факторов является температура придонной воды. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ-25-17-00015.

Орографическое воздействие на распределение осадков на территории Тункинской котловины

Маноле А.А.¹, Воропай Н.Н.^{1,2}

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

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

an.manole@mail.ru

Ключевые слова: изменение климата, мониторинг, атмосферные осадки, микроклимат, горно-котловинные ландшафты

Атмосферные осадки представляют собой ключевой источник формирования естественных запасов поверхностных и подземных вод. Они оказывают влияние на все компоненты окружающей среды, при этом рельеф местности выступает важнейшим фактором, модифицирующим распределение поле осадков. Влияние рельефа учитывается в зависимости от высоты, открытости и ориентации склонов по отношению к влагонесущему потоку, горизонтальных масштабов возвышенности, общих условий увлажнения района, особенностей атмосферной циркуляции. Изменение режима выпадения осадков в настоящее время отмечается повсеместно, в том числе и для территории Сибири.

В работе рассмотрено распределение сумм атмосферных осадков в пределах Тункинской котловины. На территории установлены атмосферно-почвенные измерительные комплексы (АПИК), в состав которых входит осадкомер Davis 7852M – датчик количества жидких осадков в пределах от 0 до 1000 мм/ч, $\pm 5\%$, разрешение 0,2 мм. Площадки наблюдения расположены в центре котловины (п.Тунка, метеорологическая станция, $h = 780$ м над ур.м.), в предгорной части (п.Аршан, $h = 870$ м над ур.м.) и на склоне Тункинских Гольцов на высоте 1418 и 1892 м над ур.м.

На предварительном этапе проведено сравнение сумм атмосферных осадков в пределах теплого периода, полученных по результатам измерения осадкомера Третьякова, установленного на метеостанции Тунка, и АПИК. Отмечено, что разности суточных сумм осадков, фиксируемых указанными приборами, в 98% случаев не больше 1 мм, а в 84% случаев не превышают инструментальную погрешность осадкомера Davis. Выявлено, что осадков в горной части выпадает примерно в 2 раза больше, чем в предгорной или на равнинной территории. Различия между равнинной и предгорной территорией незначительны. При этом, градиент может быть как положительный, так и отрицательный (в среднем $\pm 0,2$ -1,0 мм, в отдельных случаях до ± 20 мм).

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 25-27-00395, <https://rscf.ru/project/25-27-00395/>

Факторы формирования экстремальных приземных температур во время волн тепла 1972 и 2010 гг. на Европейской территории России

Моргунова А.А.¹, Семенов В.А.^{1,2}

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

²*Институт географии РАН, Москва, Россия*

aamorgunova@edu.hse.ru

Ключевые слова: волны тепла, баланс потоков тепла, блокинг

Волны тепла (ВТ) 1972 и 2010 гг. являются самыми продолжительными и экстремальными на Европейской территории России (ЕТР). Факторы формирования температурных аномалий во время ВТ 2010 года подробно изучались во многих работах, но до сих пор сохраняются некоторые неопределенности касательно причин и механизмов экстремального события. ВТ 1972 года исследовалась преимущественно в контексте динамических механизмов формирования и поддержания антициклональных (блокирующих) условий. В работе рассматриваются и сравниваются причины колебаний приповерхностной температуры во время двух событий. Анализируются балансы потоков тепла на поверхности; оцениваются вклады горизонтальной адвекции, адиабатического и неадиабатического компонентов в локальное изменение температуры.

Подход к исследованию режимов циркуляции атмосферы и дальних связей на основе скрытых марковских моделей

Мухин Д.Н., Фейгин А.М., Самойлов Р.С., Сафонов С.Е.

Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия
mukhin@ipfran.ru

Ключевые слова: режимы погоды, эмпирические модели, скрытые марковские модели, анализ причинных связей

Динамика атмосферы средних широт характеризуется режимами погоды, которые проявляются как повторяющиеся пространственные структуры планетарного масштаба, способные существовать от дней до нескольких недель. Такие выделенные метастабильные состояния являются нелинейным свойством, присущим крупномасштабным геострофическим движениям атмосферы. Можно сказать, что режимы образуют каркас изменчивости циркуляции атмосферы средних широт на масштабах, превышающих характерное время предсказуемости метеорологических процессов, поэтому идентификация и моделирование режимов могут быть важны как с точки зрения исследования долгосрочной предсказуемости погоды и климата.

В докладе представлен развиваемый в ИПФ РАН подход [1,2] к эмпирическому (по данным измерений) моделированию режимов, использующий дискретное представление фазового пространства системы в виде набора скрытых состояний и оператор эволюции в марковской цепи. Такая скрытая марковская модель (СММ) позволяет не только эффективно детектировать метастабильные состояния в фазовом пространстве системы, но и оценивать времена жизни режимов и вероятности переходов между ними, что может быть использовано для анализа долгосрочной предсказуемости. Построение СММ позволяет осуществить нелинейное преобразование к новым вероятностным переменным, что позволяет математически просто выражать и оценивать информационные меры причинных связей между процессами, протекающими в различных атмосферных подсистемах.

Демонстрируются последние результаты моделирования и анализа свойств режимов циркуляции атмосферы средних широт в тропосфере и стратосфере Северного полушария по данным реанализов. На базе разработанного метода оценки причинных связей исследуется взаимное влияние мод полярного стратосферного вихря и режимов в тропосфере на различных высотных уровнях. Обсуждаются перспективы развития подхода и его использования в долгосрочном прогнозировании погоды.

Работа поддержана Российским научным фондом (грант № 22-12-00388-П).

Литература:

1. Mukhin, D., Samoilov, R. & Hannachi, A. // Metastability and teleconnection of atmospheric circulation via hidden Markov models and network modularity. // Sci Rep 15, 34095 (2025).
2. Samoilov, R., Mukhin, D., Safonov, S., Loskutov, E., Mukhina, A. and Gritsun, A. // Reproducibility of atmospheric circulation regimes over the winter Northern Hemisphere by the INMCM5 Earth system model. // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, 40, 2, 2025, 141-152. (2025)

Климатическая изменчивость области верхней мезосферы и нижней термосферы (ВМНТ) по данным ее многолетних наблюдений

Перцев Н.Н.¹, Перминов В.И.¹, Мерзляков Е.Г.², Далин П.А.³, Медведева И.В.⁴, Суходоев В.А.¹

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

²*Институт экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун», Обнинск, Россия*

³*Шведский институт космической физики, Кируна, Швеция*

⁴*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

n.pertsev@bk.ru

Ключевые слова: верхняя мезосфера, нижняя термосфера, область мезопаузы, временные ряды, климатическая изменчивость, собственное излучение атмосферы, спектрофотометрические измерения, радиометеорные измерения, вращательная температура, компоненты скорости ветра, климатические тренды, интенсивность флуктуаций

70-летняя история звенигородских наблюдений ИК-излучения и 60-летняя история обнинских радиометеорных измерений позволяют изучать климатическую изменчивость характеристик ВМНТ в диапазоне от нескольких минут до нескольких десятилетий. Анализируются следующие измеряемые величины: вращательные температуры ОН*-слоя (высота 82-92 км), найденные по полосам ОН(6-2) и ОН(3-1), интенсивность излучения полосы ОН(6-2), интенсивность излучения полосы $O_2A(0-1)$ 865 нм, горизонтальные компоненты радиометеорного ветра на высотах 85-95 км. Анализ дополняется статистикой (с 1962 г.) появлений и яркости мезосферных облаков, которые в летнее время также могут характеризовать температурно-влажностный режим верхней мезосферы. Совершенствование измерений и постепенное увеличение длины получаемых временных рядов позволяют охватывать все более широкие частотные диапазоны и уточнять прежние результаты с лучшей статистической достоверностью. В настоящем сообщении демонстрируются наиболее важные результаты статистической обработки временных рядов измеренных характеристик ВМНТ. Обращается внимание на эволюцию многолетнего отрицательного тренда среднегодовой температуры ОН*, значение которого для временного периода 1957-1975 гг. составляло $-0.53(\pm 0.17)$ К/год, а в последние 25 лет ослабло до $-0.1(\pm 0.03)$ К/год. Разделение по сезонам показало, что в настоящее время наибольшее охлаждение испытывает летняя ВМНТ. Данный эффект сезонности температурного тренда может быть объяснен изменениями в динамике на высотах области ВМНТ. В этом плане принципиально новым результатом является обнаружение многолетнего положительного временного тренда интенсивности волновых флуктуаций в температуре ОН*-слоя в диапазоне периодов 5 мин–8 ч. Как известно, волновая активность является одним из основных факторов формирования теплового режима ВМНТ, и ее сезонно-зависимый тренд может способствовать как охлаждению, так и потеплению ВМНТ.

Методы оценки изменения климата верхней атмосферы по данным долговременных измерений на Иркутской ионосферной станции

Ратовский К.Г., Сетов А.Г.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

ratovsky@iszf.irk.ru

Ключевые слова: изменение климата, верхняя атмосфера, ионосферные измерения

Методы оценки изменения климата верхней атмосферы на основе ионосферных измерений основываются на следующих принципах. Выбирается ионосферная характеристика, в данном докладе – это среднегодовое значение максимума электронной концентрации NmF2 (раздельно для дневного (10-14 LT) и ночного времени (22-02 LT)). Следующий шаг – это устранение влияния изменения солнечной активности. В данном докладе эта задача решалась на основе простой линейной регрессии NmF2 на среднегодовые значения индексов солнечной активности. Индексами являлись F10.7 и F30 (потоки радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см или частоте ~ 2.8 ГГц и на длине волны 30 см или частоте 1 ГГц). Далее анализировалось отклонение NmF2 от регрессии на предмет среднеквадратичной ошибки и наличия тренда, оцениваемого при помощи аппроксимации отклонения линейной функцией времени.

Анализ отклонений NmF2 от регрессий на F10.7 и F30 за 1957-2023 гг. дал следующие результаты. Во-первых, ошибка регрессии на F30 больше ошибки регрессии на F10.7 в ~ 1.4 раза для дня и в ~ 1.2 раза для ночи. Во-вторых, вписанный в отклонения тренд для F30 больше тренда для F10.7 в ~ 3.7 раза для дня и в ~ 2.7 раза для ночи. Возможно, именно наличие большего тренда ведет к большей ошибке. Очевидно, что различие в трендах F30 и F10.7 может объясняться трендом в отношении между индексами. Анализ отношения F30/F107 показал, что это отношение в среднем возрастает с 1955 по 2023 г. При аппроксимации линейным трендом F30/F107 меняется на $\sim 12\%$, при аппроксимации отношения 11-летним скользящим средним – на $\sim 11\%$.

Ошибки регрессий NmF2 на F10.7 и F30 существенно зависят от рассматриваемого периода. Для XX века ошибка регрессии на F10.7 несколько возрастает по сравнению с периодом 1957-2023 и приближается к ошибке регрессии на F30 (ошибки совпадают с точностью до 20%). Для XXI века ошибки регрессий на F10.7 и F30 существенно уменьшаются по сравнению с периодом 1957-2023 и близки друг к другу с точностью до 20%. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-00187, <https://rscf.ru/project/25-17-00187>.

Идентификация и анализ главных мод климатической изменчивости по ансамблям реализаций моделей Земной системы

Селезнев А.Ф.¹, Буянова М.Н.¹, Гаврилов А.С.², Лоскутов Е.М.¹, Фейгин А.М.¹

¹Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия

²Университет Валенсии, Валенсия, Испания

aseleznev@ipfran.ru

Ключевые слова: модели Земной системы, климат, моды изменчивости климата

Задача всестороннего анализа ключевых мод изменчивости климата в моделях Земной климатической системы (МЗС) возникла с самого начала существования международного проекта CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) по сравнению передовых МЗС и по-прежнему остается актуальной. Отдельное научное направление в рамках данной задачи связано с разработкой и применением методов анализа т.н. вынужденной и собственной (естественной) климатической изменчивости. В докладе будут представлены результаты детального сравнения ведущих мод вынужденной и собственной изменчивости климата, полученных по выходным данным температуры поверхности (ТПО) и теплосодержания верхнего слоя океана (ТО) пяти различных МЗС из ансамбля CMIP6. В качестве основного инструмента анализа использовался разработанный недавно мультимодельный метод ансамблевых линейных динамических мод, который позволяет представить мультимодельный ансамбль климатических реализаций в общем (для всех моделей) базисе характерных пространственных структур. Таким образом, становится возможным напрямую сравнивать модовый состав различных МЗС в этом базисе, без привлечения каких-либо специфических несогласованных метрик. Было получено, что внутренняя изменчивость как ТПО, так и ТО в рассматриваемых МЗС, главным образом, определяется динамикой климата на межгодовых и декадных масштабах и связана с проявлением явления Эль-Ниньо – Южное колебание и десятилетней изменчивости в Тихом океане. При этом некоторые важные аспекты выявленных мод изменчивости существенно отличаются между различными моделями. Вынужденная изменчивость в основном представлена трендом глобального потепления со своей характерной скоростью для каждой из рассмотренных МЗС. Кроме того, в отдельных МЗС выявлен эффект синхронизации (между различными реализациями) изменчивости ТПО в северной Атлантике, связанный с влиянием аэрозольного форсинга.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН (проект FFUF-2025-0009).

Изменения климата на северном Кавказе за последние 2 тыс. лет

Соломина О.Н.

Институт географии РАН, Москва, Россия

olgasolomina@yandex.ru

Ключевые слова: палеоклиматология, дендрохронология, колебания ледников, малый ледниковый период, позднеледниковое похолодание, средневековый оптимум

В этом обзоре обобщена информация о колебаниях климата и ледников Северного Кавказа за последние два тысячелетия, полученная на основе косвенных палеоклиматических данных. Для реконструкции размеров ледников в прошлом были использованы аэрофото и космические снимки, повторные наземные фотографии, старые карты и описания, дендрохронология, датирование по радиоуглеродное и космогенным изотопам (^{10}Be и ^{36}Cl). Для палеоклиматических реконструкций высокого временного разрешения, были использованы дендрохронологические данные (ширина, оптическая плотность и соотношение в древесине сосны стабильных изотопов кислорода) и данные анализа ледникового керна Эльбруса. Было установлено, что основные стадии наступания ледников за последние два тысячелетия датируются временем 1.6, 0.7-0.8, 0.5, 0.25 и 0.16-0.14 тыс. лет назад (Solomina et al., 2024, Jomelli et al., 2025). Морены, образовавшиеся в результате этих наступаний, представляют собой комплексы, в которых валы сближены, и в своей проксимальной части примыкают к моренам последнего максимума малого ледникового периода (1830-1860-е гг.), что свидетельствует о колебаниях летних температур примерно одной амплитуды, без заметных трендов за последние 2 тыс. лет. С середины 19-го века ледники на Кавказе отступают. Следует, однако, иметь ввиду, что о размерах ледников в теплые интервалы между наступаниями, информация практически отсутствует. По данным дендрохронологии (Dolgova, 2016) за последние четыре столетия холодные аномалии июня-сентября отмечались в 1596 (на $3,6^\circ\text{C}$ холоднее, чем в среднем за 1961–1990 гг.), в 1884 (-3.2°C), 1624 (-3.1°C), 1646 (-2.9°C), 1842 (-2.7°C), 1840 (-2.6°C), 1654 (-2.6°C), а в 1817 (-2.6°C) гг.; потепления – в 2010 ($+3,6^\circ\text{C}$, в 2008 ($+2,7^\circ\text{C}$), 1792 ($+2,3^\circ\text{C}$), 1773 ($+2,3^\circ\text{C}$) и 2007 ($+2,2^\circ\text{C}$) гг. Потепление на северном Кавказе стало особенно заметным в последние десятилетия, что согласуется с увеличением скорости отступления ледников в первой четверти 21-го века.

Литература:

1. Dolgova, E. (2016). June–September temperature reconstruction in the Northern Caucasus based on blue intensity data. *Dendrochronologia*, 39, 17-23.
2. Jomelli, V., Solomina, O., Charton, J., Swingedouw, D., Al-Yaari, A., Bushueva, I., ... & Zaïdi, F. (2025). Late Holocene glacier fluctuations in the Northern Greater Caucasus (Russia) inferred from ^{10}Be cosmic ray exposure moraine dating. *The Holocene*, 09596836251396086.

Воспроизведение мод естественной изменчивости и экстремальных погодно-климатических явлений моделью Земной системы ARTS-ESM-M

Тарасевич М.А.^{1,2}, Володин Е.М.^{1,3}

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Гидрометцентр России, Москва, Россия

³Институт географии РАН, Москва, Россия

mashatarasevich@gmail.com

Ключевые слова: модель Земной системы, экстремальные явления, моды естественной изменчивости

Семейство моделей Земной системы ARTS-ESM является эволюционным развитием климатических моделей INMCM [1] и состоит из: модели атмосферы с блоком деятельного слоя суши, аэрозольным блоком, модели океана с блоком морского льда, блока углеродного цикла. Модель атмосферы ARTS-ESM-M имеет разрешение $1.25^{\circ} \times 1^{\circ}$ по долготе и широте и верхнюю границу на высоте около 60 км. Разрешение модели океана ARTS-ESM-M составляет $0.5^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ градуса и 40 вертикальных сигма-уровней. ARTS-ESM-M планируется использовать для выполнения экспериментов CMIP7 [2] (DECK, ScenarioMIP, DCPPI), а также для оперативных сезонных прогнозов в Гидрометцентре России.

В рамках настоящей работы исследуется качество воспроизведения моделью Земной системы ARTS-ESM-M мод естественной изменчивости и экстремальных погодно-климатических явлений. Будет рассмотрено воспроизведение квазидвухлетнего колебания, явления Эль-Ниньо-Южное колебание, а также, других крупномасштабных мод естественной изменчивости. Особое внимание будет также уделено воспроизведению экстремальных погодно-климатических явлений, в том числе, связанных с температурой. Работа выполнена в Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука Российской Академии Наук при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 25-17-00203). Исследование выполнено с использованием ресурсов программно-аппаратного комплекса «Исток» Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова (Соглашение №075-15-2025-541) и вычислительной системы Cray XC40-LC Главного вычислительного центра Гидрометцентра России.

Литература:

1. Володин Е.М., Грицун А.С., Брагина В.В., Тарасевич М.А., Черненко А.Ю. Развитие модели земной климатической системы ИВМ РАН // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, Т.61, №3, С. 292-304, 2025
2. Dunne JP, Hewitt HT, Arblaster JM, et al An evolving Coupled Model Intercomparison Project phase 7 (CMIP7) and Fast Track in support of future climate assessment // Geoscientific Model Development, I.18(19), P. 6671–6700, 2025

Эмпирический подход к моделированию и прогнозу эволюции климатических систем

Фейгин А.М., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Гаврилов А.С., Селезнев А.Ф.

Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия
feigin@ipfran.ru

Ключевые слова: эмпирическое моделирование сложных природных систем, исследование механизмов эволюции климатических систем, критические переходы

Как земная климатическая система в целом, так и многие из ее подсистем относятся к сложным природным системам, основной особенностью которых является мультимасштабность: протекающие в них взаимосвязанные процессы характеризуются существенно различными временными и пространственными масштабами. В большинстве случаев построение «полной» модели, адекватно описывающей всю совокупность процессов, оказывается невозможным, и целью моделирования является изучение поведения отдельных подсистем, чья динамика отвечает сравнительно узкому диапазону пространственно-временных масштабов. Влияние на эту динамику процессов, эволюционирующих с другими характерными масштабами, описывается в большинстве случаев приближенно.

В случае, когда математическая модель построена на основании «первых принципов» (установленных естественно-научных законов), приближенное описание производится на основе гипотез, согласующихся с имеющимися данными наблюдений. Для сложных систем при этом возникает проблема с оценкой степени адекватности гипотезы: существенно различные гипотезы могут одинаково хорошо воспроизводить наблюдаемую динамику системы. В результате становится невозможной оценка адекватности как выявленных механизмов, определяющих наблюдаемую динамику системы, так и прогноза изменения этой динамики.

В докладе обсуждается иной подход к исследованию механизмов эволюции климатических систем, основанный на построении их моделей методами эмпирической реконструкции, позволяющими выявлять наиболее вероятные механизмы, ответственные за наблюдаемую динамику системы. Возможности подхода демонстрируются на 2-х примерах: (1) построении прогностической модели явления Эль-Ниньо – Южного колебания, включенной в международный ансамбль прогностических моделей явления Эль-Ниньо Колумбийского университета, и (2) эмпирической реконструкции климата Плейстоцена, позволившей, в том числе – выявить причины критического перехода среднего Плейстоцена.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №23-62-10043.

Оценка характеристик углеродного цикла в модели Земной системы ARTS-ESM

Черненко А.Ю.^{1,2}, Володин Е.М.^{1,2}

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Институт географии РАН, Москва, Россия

chernenkoval97@gmail.com

Ключевые слова: моделирование климата, модель Земной системы, ARTS-ESM, углеродный цикл, CMIP7

В ИВМ РАН совместно с рядом организаций развивается семейство глобальных климатических моделей [1]. К началу 2026 года было подготовлено очередное поколение этого семейства для участия в 7ой фазе Международного проекта по сравнению совместных климатических моделей (CMIP7) [2]; при этом модель получила новое название — ARTS-ESM. В докладе анализируются характеристики углеродного цикла модели [3] на примере конфигурации низкого пространственного разрешения ARTS-ESM-L. Данная версия имеет пространственное разрешение 2.0x1.5 градуса по долготе— широте и 21 сигма-уровень по вертикали в атмосфере и 1.0x0.5 градуса и 40 уровней в океане. Получены оценки обратных связей в системе «климат — углеродный цикл». Кроме того, в докладе обсуждается качество воспроизведения моделью изменений запасов углерода в экосистемах суши и океана в историческом эксперименте 1850–2021 гг. при двух сценариях: с предписанной и с интерактивно вычисляемой концентрацией CO₂ в атмосфере. Результаты сравниваются с аналогичными характеристиками для мультимодельного ансамбля CMIP6.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант РНФ № 25-17-00203.

Литература:

1. Володин Е.М. и др. Развитие модели земной климатической системы ИВМ РАН // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2025, 61(3), 301–310.
2. Dunne et al., An evolving Coupled Model Intercomparison Project phase 7 (CMIP7) and Fast Track in support of future climate assessment, Geosci. Model Dev., 2025, 18, 6671–6700.
3. Черненко А.Ю. и др. Моделирование углеродного цикла деятельного слоя суши и Мирового океана в модели земной системы INM-CM6 // Метеорология и гидрология, 2025, 9, 84–98.

Атмосферные конвективные явления в условиях изменения климата

Чернокульский А.В.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

a.chernokulsky@ifaran.ru

Ключевые слова: атмосферная конвекция, опасные явления, смерчи, крупный град, шквалы, экстремальные ливни

Представлены результаты многолетних исследований опасных конвективных явлений, в том числе их изменений и изменчивости, механизмов выявленных изменений и изменчивости.

Впервые показано характерное количество сухопутных смерчей в регионах Северной Евразии, которое составляет 100–300 смерчей в год, включая 10–50 смерчей второй интенсивности по шкале Фудзиты и выше ($v > 50$ м/с) и 1–3 смерча третьей интенсивности и выше ($v > 70$ м/с) [1]. Выявленное количество смерчей на порядок превосходит предыдущие оценки, что указывает на существенную недооценку повторяемости смерчей для регионов Северной Евразии.

Впервые для регионов Северной Евразии задокументированы и исследованы редкие события долгоживущих конвективных штормов по типу деречо и условия их формирования, в том числе с выделением роли блокирующих антициклонов [2]. Впервые показано наблюдаемое с 1966 года перераспределение общей суммы осадков в сторону ливневых с усилением вклада особенно сильных ливней 95 перцентиля [3]. Получена количественная оценка роли потепления поверхности Черного моря в формировании сильных конвективных осадков на черноморском побережье [4] и в общем росте конвективной неустойчивости в Северной Евразии. Впервые получены количественные оценки роли городской подстилающей поверхности в интенсификации опасных конвективных явлений, выявлен рост частоты условий, характерных для формирования мезоциклонов, обусловленный наличием городской подстилающей поверхности [5].

Созданы уникальные массивы данных по конвективным событиям в Северной Евразии, включая долгопериодную базу данных по характеристикам ливневых и обложных осадков на станциях России (с 1966 г.), базу данных по характеристикам сухопутных и водных смерчей в регионах Северной Евразии (с X века), базу данных по характеристикам мезомасштабных конвективных систем в регионах Восточной Европы (с 2010 г.), базу данных по 50 индексам конвективной неустойчивости для регионов Северной Евразии с шагом 1 час и разрешением 25 км (с 1958 года) [6].

Литература:

1. Chernokulsky et al., Mon. Wea. Rev., 2020, 148, 3081–3110, DOI: 10.1175/MWR-D-19-0251.1
2. Chernokulsky et al., Atm. Res., 2022, 267, 105928, DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105928
3. Chernokulsky et al., Environ. Res. Let., 2019, 4, 045001, DOI: 10.1088/1748-9326/aafb82.
4. Meredith et al., Nat. Geo., 2015, 8, 615–619, DOI: 10.1038/NGEO248.
5. Platonov et al., Urb. Clim., 2024, 54, 101837, DOI: 10.1016/j.uclim.2024.101837.
6. Чернокульский и др., Метеор. Гидрол., 2022, 5, 27–41.

Моделирование димерного вклада в континуальное поглощение водяного пара в дальней ИК области методом классических траекторий

Чистиков Д.Н., Финенко А.А., Вигасин А.А.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
artfin@mail.ru

Ключевые слова: димер воды, континуум водяного пара, метод классических траекторий, дальняя инфракрасная область

Континууму водяного пара принадлежит ключевая роль в парниковом эффекте земной атмосферы. Физическая природа континуума остаётся предметом дискуссий: её связывают с дальними крыльями мономерных линий, поглощением связанными и метастабильными димерами и столкновительными парами [1]. Эмпирическая модель континуума MT_CKD, включённая в базу данных HITRAN [2], обеспечивает удовлетворительную точность описания наблюдаемого поглощения в отдельных участках спектра, однако эта модель в своей основе не отражает реальную физическую картину молекулярных взаимодействий. Экспериментальное наблюдение спектра связанных димеров воды при комнатной температуре [3,4] убедительно показало, что димерное поглощение ответственно за значительную долю континуума в миллиметровом диапазоне. Квантовомеханический расчёт спектра связанных димеров [5], основанный на рассмотрении переходов между всеми колебательно-вращательными состояниями комплекса, подтвердил значимость димерного поглощения в миллиметровой области, но показал, что его относительный вклад убывает с ростом частоты. Теоретическое моделирование спектра поглощения димеров $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ в более широкой спектральной области остаётся актуальной задачей. Это в полной мере относится к расчетам димерного поглощения в дальней ИК области при различных температурах, характерных для земной атмосферы.

В настоящей работе представлены результаты моделирования спектра поглощения пары $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ в дальней ИК области методом классических траекторий. Метод основан на расчёте динамики столкновений молекул воды с использованием полноразмерных *ab initio* поверхностей потенциальной энергии и дипольного момента, рассчитанных в [6] на уровне CCSD(T)/aug-cc-pVTZ и MP2/aug-cc-pVTZ соответственно. Данный подход ранее успешно применялся нами для расчёта индуцированных спектров столкновительных пар (N_2-N_2 , CO_2-CO_2 , N_2-CH_4 и др.), часть которых включена в базу данных HITRAN. Траекторный метод позволяет проследить эволюцию спектра в широкой области температур.

Литература:

1. Shine K.P. et al. // *Surv. Geophys.* 2012. V. 33. P. 535–555.
2. Mlawer E.J. et al. // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* 2023. V. 306. 108645.
3. Tretyakov M.Yu. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 2013. V. 110. 093001.
4. Serov E.A. et al. // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2014. V. 16. P. 26221–26233.
5. Scribano Y. et al. // *J. Chem. Phys.* 2007. V. 126. 234301.
6. Huang X. et al. // *J. Phys. Chem. A.* 2006. V. 110. P. 445–451.

Разработка глобальной модели атмосферы для исследований климата и прогноза погоды с высоким пространственным разрешением

Шашкин В.В.^{1,2}, Гойман Г.С.^{1,2,3}, Марханов Д.А.^{1,2}, Третьяк И.Д.^{1,2,3}, Хайдапов Ж.Б.^{1,3}

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Гидрометцентр России, Москва, Россия

³Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),

Долгопрудный, Россия

v.shashkin@inm.ras.ru

Ключевые слова: модель атмосферы, вычислительные методы, моделирование климата

Современные модели атмосферы, применяемые для прогноза погоды и исследования изменений климата, имеют горизонтальное разрешение от 10 до 100 км. При таком разрешении многие важные процессы имеют подсеточный масштаб и воспроизводятся параметризовано. Считается, что параметризации, главным образом параметризация глубокой конвекции, являются основным источником неопределённости моделирования. Снизить неопределённость можно, если использовать сетки с шагом в единицы километров, на которых разрешаются отдельные облачные кластеры. В мире ведётся активная работа по созданию моделей, которые будут способны производить оперативные расчёты с таким разрешением. Важнейшее требование к архитектуре таких моделей - высокая параллельная эффективность, в том числе, на гетерогенных вычислительных системах, что влечёт за собой необходимость использовать сетки со сложной топологией и локализованные численные методы.

В ИВМ РАН и Гидрометцентре России ведётся разработка глобальной модели атмосферы с целевым горизонтальным разрешением 3-5 км (и, возможно, подробнее). Особенности модели являются: использование сетки кубическая сфера с квазиравномерным разрешением, возможность регионализации, аппроксимация высокого порядка точности с сохранением энергии, интеграция гидростатической и негидростатической версий в рамках одного кода, возможность расчётов на графических ускорителях. В предлагаемом докладе планируется рассказать о текущем этапе разработки модели и последних полученных результатах. В том числе, планируется уделить внимание результатам расчётов модели со стартом с реальных данных атмосферы Земли, расчётам с подключёнными параметризациями подсеточных процессов, адаптации гидростатической версии модели для вычислений на графических ускорителях.

Моделирование климата Мирового океана в рамках национальной модели Земной Системы RusESM

Яковлев Н.Г.¹, Благодатских Д.В.¹, Ежкова А.А.¹², Оноприенко В.А.¹

¹Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия
nick_yakovlev@mail.ru

Ключевые слова: моделирование, климат, Мировой океан, морской лед, национальная модель Земной системы

Мировой океан и морской лед являются неотъемлемыми составляющими климатической системы Земли. Специфика решения задачи не позволяют использовать высокое пространственно-временное разрешение, что снимало бы значительную часть вопросов, касающихся параметризации подсеточных процессов. Большое время интегрирования создает особые требования к численным методам и программной реализации модели, а работа в совместной моде с моделями атмосферы и морского льда требует понимания иерархии физических процессов.

Обсуждаются улучшения модели Мирового океана ИВМ РАН, которые касались как численных методов, так и полноты описания физики океана и морского льда. Внесены изменения в методы интегрирования по времени, реализованы квазимонотонные схемы переноса скаляров, реализована нелокальная аппроксимация изопикнической диффузии, реализованы более точные, параметризации вертикальной турбулентной диффузии, изменена аппроксимация силы Кориолиса. Отдельное внимание было уделено построению различных ортогональных сеток на сфере, с автоматическим формированием согласованных с атмосферным и речным форсингами масок.

Проведена большая работа по улучшению блока морского льда с учетом зарубежного и собственного опыта. Прежде всего, это касается использованию более точных схем переноса характеристик льда (масса снега и льда, сплоченность и т.д.) и более современных численных методов для вязко-пластичной реологии.

Развитие национальной модели Земной системы RusESM проводилось на основании Распоряжения Правительства РФ от 29 октября 2022 г. № 3240-р Об утверждении ВПП ГЗ "Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ" и плана мероприятий ("дорожной карты") по реализации первого этапа (2022 - 2024 гг.). Развитие модели морского льда поддержано грантом РНФ 25-77-31009 «Экстремальные погодно-климатические явления, связанные с ними последствия и риски в условиях быстрых изменений климата в Арктике».

Методика определения вертикального распределения озона в атмосфере на основе измерений уходящего теплового ИК излучения с борта спутников серии «Метеор-М» №2

Акишина С.В., Поляков А.В., Виролайнен Я.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
s.akishina@spbu.ru

Ключевые слова: вертикальное распределение озона, уходящее тепловое излучение, ИКФС-2

Разработана методика определения элементов вертикального распределения озона из спектров уходящего теплового ИК излучения, измеренных прибором ИКФС-2 с борта спутников серии «Метеор-М» №2. Преимуществом измерений уходящего теплового излучения является возможность исследования пространственного распределения озона при отсутствии солнечного излучения, от которого, в свою очередь, зависимы большинство других методов дистанционного зондирования. Решается комплексная обратная задача: предварительно перед получением профилей озона на основе метода статистической регуляризации восстанавливаются профили температуры и водяного пара, температура поверхности. Предложен алгоритм решения обратной задачи для восстановления излучательной способности поверхности, которая выполняет ключевую роль для определения «фонового» излучения в близкой к полосе озона (9.6 мкм) области спектра.

Оценки показывают, что погрешность определения общего содержания озона (ОСО) в среднем по всем широтам составила 2.3%, погрешность определения тропосферного содержания озона равна 5.2 е.Д. Наблюдается рост погрешности восстановления элементов вертикального профиля в области высоких широт, связанный с уменьшением информативности измерений ИКФС-2, вызванным уменьшением вертикального градиента температуры.

Обработаны измерения ИКФС-2 за 2015–2022 годы, вертикальные профили содержания озона сопоставлены с данными озонзондирования и наземных FTIR-измерений. Результаты хорошо согласуются, средняя разность относительно ОСО составляет $1.0 \pm 0.6\%$ с СОР 3.9% для FTIR-станции СПбГУ в Петергофе. Таким образом, методика может применяться для получения данных о вертикальном распределении озона на основе измерений уходящего теплового ИК излучения и исследования пространственного распределения озона, в том числе с целью контроля его аномальных содержаний в арктических областях России. Приведены примеры полученных данных о вертикальном распределении озона.

Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта 124032000025-1.

**Вариации концентрации загрязняющих примесей
в условиях блокирующих антициклонов по измерениям
на станции ИФА им. А.М. Обухова РАН в 2020–2023 гг.**

Березина Е.В., Панкратова Н.В., Акперов М.Г., Мойсеенко К.Б., Губанова Д.П., Беликов И.Б.,
Белоусов В.А.

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

e_berezina_83@mail.ru

Ключевые слова: состав приземного воздуха, аэрозоли, антициклоны, мегаполис, качество воздуха

Условия продолжительной стагнации воздуха способствуют накоплению и значительному росту содержания загрязняющих примесей в приземном городском воздухе. Такие условия характерны для ситуаций блокирующих антициклонов. В работе проанализированы данные измерений газового (CO , CO_2 , NO_x , CH_4 , O_3) и аэрозольного ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}) состава воздуха, а также метеопараметров в центре г. Москвы (на станции ИФА им. А.М. Обухова РАН) в период с 2020 по 2023 гг. Установлено, что наиболее высокая концентрация загрязняющих примесей, зачастую превышающая их сезонные медианы (в 2-3 раза) и среднесуточные ПДК, приходится на периоды блокирующих антициклонов (продолжительностью от 4-х дней и более). Наиболее выраженные эпизоды накопления примесей в условиях низкой скорости ветра (<1.5 м/с) наблюдаются в холодный период года (с ноября по март) и в условиях, когда станция измерений находится в центре блокирующего антициклона. Рассчитаны значения средней скорости дневного и ночного роста исследуемых газовых и аэрозольных примесей в условиях блокирующих антициклонов в холодное и тёплое время года. Полученные оценки могут быть использованы в моделях прогнозирования качества воздуха в мегаполисе в условиях продолжительной стагнации воздуха.

Измерения вертикального распределения содержания NO_2 в г. Кисловодске методом 2D-MAX-DOAS

Боровский А.Н., Постыляков О.В., Шамсутдинов Д.Р.

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

Ключевые слова: дифференциальная спектроскопия, MAX-DOAS, двуокись азота, вертикальное распределение, нижняя тропосфера

Двуокись азота NO_2 является одним из ключевых индикаторов антропогенного загрязнения воздуха городов и промышленных районов, поскольку её основным источником является высокотемпературное горение топлива. Наряду с приземными измерениями концентрации NO_2 получают распространение наблюдения содержания примеси в нижней тропосфере дистанционным методом многоугловой дифференциальной спектроскопии (MAX DOAS).

Такие наблюдения проводятся на базе высокогорного стационара ИФА им. А.М. Обухова РАН в г. Кисловодске. Спектры рассеянного солнечного излучения в видимом спектральном диапазоне регистрируются в дневное время при нескольких малых углах возвышения телескопа над горизонтом. Каждая серия измерений состоит из 10 таких углов (0° , 1° , 2° , 3° , 5° , 10° , 20° , 30° , 40° и 90°) и проводится при нескольких азимутальных углах. Описанная геометрия наблюдений позволяет не только восстановить вертикальное распределение (ВР) примесей атмосферы в нижней тропосфере [1], но и получить информацию о горизонтальной структуре ВР примеси над городом.

В ИФА им. А.М. Обухова РАН реализован алгоритм решения задачи восстановления вертикального распределения ВР NO_2 по данным измерений MAX-DOAS с использованием байесовского оценивания. Также разработан другой подход к решению этой задачи, свободный от известных недостатков байесовского подхода. Новый подход состоит в сужении класса возможных профилей на основе предположения о количестве возможных экстремумов в восстанавливаемом ВР NO_2 . Проведены первые эксперименты по восстановлению ВР NO_2 с использованием искусственных нейронных сетей.

В докладе представлены методы восстановления ВР NO_2 с учётом специфики г. Кисловодска, приведены примеры результатов измерений и их обсуждение.

Работа выполнена за счет средств государственных заданий ИФА им. А.М. Обухова РАН, регистрационный номер темы 1022041800069-7-1.5.9 (ПК 125020501413-6).

Литература:

1. Friess, U. et al. Intercomparison of MAX-DOAS vertical profile retrieval algorithms: studies using synthetic data, Atmos. Meas. Tech., 12, 2155–2181, <https://doi.org/10.5194/amt-12-2155-2019>, 2019.
2. О.В. Постыляков. Модель переноса радиации в сферической атмосфере с расчетом послойных воздушных масс и некоторые ее приложения. Известия РАН, ФАО, 2004, 40, №3, 314-329.

Влияние неблагоприятных метеорологических условий на уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Уфе

Васильев Д.Ю.¹, Семёнов В.А.^{2,3}, Корнаухов А.Д.¹, Кучерова Д.С.¹, Семенова Г.Н.⁴

¹*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия*

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

³*Институт географии РАН, Москва, Россия*

⁴*Башкирское УГМС Росгидромета, Уфа, Россия*

vasilev.dyu@uust.ru

Ключевые слова: атмосферные примеси, неблагоприятные метеорологические условия, индекс загрязнения атмосферы, интегральный параметр загрязнения атмосферы

По данным измерений с наблюдательной сети Росгидромет произведен анализ состояния атмосферного воздуха в городе Уфе. Базой для анализа послужили инструментальные измерения с 9 стационарных станций по 14 атмосферным примесям за 2023 и 2024 гг. Неблагоприятные метеорологические условия влияют на качество атмосферного воздуха [1, 2] и тем самым оказывают негативное воздействие на здоровье городских жителей. Выявлена пространственная структура атмосферных примесей, определены основные источники загрязнения воздушного бассейна города Уфы. Исследованы связи концентрации атмосферных примесей с неблагоприятными метеорологическими условиями. Полученные результаты могут быть использованы в построении моделей оценивания полей концентрации примесей, а также в городском планировании мероприятий по улучшению качества атмосферного воздуха. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-00138.

Литература:

1. Д.Ю. Васильев, П.В. Вельмовский, Г.Н. Семенова, А.А. Чибилев. Остров тепла в пограничном слое атмосферы и концентрация загрязняющих веществ над городом Уфа в 2021 г. // Доклады РАН. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 2. С. 356-362.
2. D.Y. Vasilev, A.N. Yelizariyev, D.S. Kucheroval, G.N. Semenova, V.A. Semenov. An analysis of meteorological conditions and concentrations of atmospheric impurities in the city of Ufa // Russian Physics Journal. 2025. V. 68. I. 7. P. 1005-1009.

Индукцированное поглощение молекулярных газов в планетных атмосферах

Вигасин А.А., Казаков К.В., Финенко А.А., Чистиков Д.Н.

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

vigasin@ifaran.ru

Ключевые слова: молекулярное поглощение, индуцированное поглощение, метод классических траекторий, континуальные спектры, атмосферное электричество

Атмосферы Земли и землеподобных планет имеют вторичное происхождение: они сформировались в результате эмиссии азота, диоксида углерода и других газов из твердой или жидкой оболочки. Первичные атмосферы планет-гигантов состоят в основном из легкого водорода, плотность которого может достигать огромных значений. Атмосферы всех планет состоят в основном из молекул, не имеющих дипольного момента, и должны быть, по существу, прозрачны в дальней ИК области спектра. В действительности, плотные атмосферы неполярных газов поглощают излучение пропорционально квадрату плотности в результате взаимодействия между молекулами. Это индуцированное поглощение определяет радиационный баланс планет-гигантов и может вносить существенный вклад в парниковый эффект других планет.

Эффективный метод расчета индуцированных спектров, разработанный в ИФА им. А.М. Обухова РАН, основан на использовании классических траекторий рассеяния и квантово-химических поверхностей электронной энергии и наведенного дипольного момента. Траекторным методом были рассчитаны спектры поглощения в тепловой области спектра для Ar-CO_2 , $\text{CO}_2\text{-CO}_2$, Ar-N_2 , $\text{N}_2\text{-N}_2$, $\text{N}_2\text{-CH}_4$, $\text{CO}_2\text{-CH}_4$. Часть полученных спектров включена в международную базу спектральных данных HITRAN. Они востребованы для интерпретации данных наблюдений, например, в ходе миссии Кассини/Гюйгенс в атмосфере Титана, для моделирования парникового эффекта в условиях палеоклимата Марса, для уточнения радиационного баланса атмосферы Венеры и пр.

Индукция дипольного момента не обязательно связана с молекулярными столкновениями; она происходит также за счет поляризации молекул во внешнем электрическом поле. В условиях грозových явлений индукция дипольного момента может приводить к накоплению энергии за счет поглощения тепловой радиации основными молекулами атмосферы. Температурная неравновесность газа, вызванная его расширением в молниевом канале, может привести к инверсии населенностей и вынужденной эмиссии излучения, вызванной электрическим разрядом.

Новая модель городского аэрозоля и ее применение для оценки радиационных эффектов в Московской агломерации в условиях высокого альбедо поверхности

Голиков А.Д.¹, Чубарова Н.Е.¹, Кирсанов А.А.²

¹*Кафедра метеорологии и климатологии, Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

²*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия*
a050504@ya.ru

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, оптические свойства аэрозоля, радиационный эффект аэрозоля

При моделировании атмосферной радиации важно уделять особое внимание оптическим свойствам аэрозоля, вносящего значимый вклад в ослабление излучения. Как правило, аэрозоль уменьшает радиационный баланс на ВГА, но в условиях высокого альбедо поверхности его радиационный эффект может быть положительным (Chen et al., 2024). Чтобы оценить радиационный эффект городского аэрозоля в Москве, был проведен ряд экспериментов с использованием химико-транспортной модели ICON-ART (Rieger et al., 2015), но в ней в настоящее время нет модели городского аэрозоля. При этом она отличается от своей предшественницы, модели COSMO-ART (Vogel et al., 2009), большей гибкостью и более современным радиационным блоком — ecRad (Hogan, Bozzo, 2018).

Для расчетов в ICON-ART была предложена новая модель городского аэрозоля, основанная на результатах решения обратной задачи по данным AERONET (Dubovik, King, 2000), полученным в Метеорологической обсерватории МГУ. Результаты обратного моделирования усреднялись за период 2010-2021 гг. Период с 2000 по 2010 г. не рассматривался, чтобы исключить тренд на снижение АОТ (Chubarova et al., 2016). На основе распределения частиц по размерам были выделены 3 фракции, представленные логнормальными распределениями. Для них были оценены средний радиус, стандартное отклонение и весовые коэффициенты. Затем оптические свойства этих фракций были рассчитаны в программе MOPSMAP (Gasteiger, Wiegner, 2018), а комплексный показатель преломления был взят из базы данных OPAC (Hess et al., 1998). Расчеты проводились для длин волн, соответствующих центрам спектральных интервалов ecRad.

Эксперименты с ICON-ART проводились за период с 24 по 28 февраля 2025 г. в условиях ясного неба и снежного покрова с высоким альбедо поверхности (порядка 0,65). По предварительным результатам АОТ составила около 0.03-0.05 в видимом диапазоне спектра. Радиационный эффект аэрозоля составил +0,14 Вт/м² на ВГА и -0,44 Вт/м² на НГА, что указывает на его сильную зависимость от альбедо поверхности.

Оптические свойства и микрофизические характеристики атмосферного аэрозоля: новые результаты исследований

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

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

gengor@ifaran.ru

Ключевые слова: атмосферный аэрозоль, оптические свойства, микрофизические характеристики, поглощательная способность аэрозоля, аномальное селективное поглощение, пылевой аэрозоль, нефотохимический смог, ветропесчаный поток, эмиссия пылевого аэрозоля, турбулентный поток, Арктика, заповедные территории, черный углерод, тяжелые металлы, антропогенные источники, механизмы очищения атмосферы

Выполнены исследования крупномасштабных задымлений (с площадью примерно до 15 млн км² в сибирской дымной мгле 2016 г.), которые радикально меняют радиационный режим атмосферы и экологическую обстановку. Обнаружено аномальное селективное поглощение дымового аэрозоля в дымной мгле и нефотохимических смогах Китая.

Установлено, что возникающая в пустыне Такла-Макан пыльная мгла отличается слабым поглощением. Селективное поглощение пылевого аэрозоля в видимой области спектра (минералом гётит) наблюдалось в пыльной мгле на Ближнем Востоке.

На опустыненной территории в пылевой плазме ветропесчаного потока изучены процессы сальтации, эмиссии пылевого аэрозоля и электризации, обусловленной, главным образом, электрическими коронными микроразрядами на подстилающей поверхности, благодаря которым возникают высокоскоростные сальтирующие частицы. Показано, что электродинамическая сальтация определяет вертикальное распределение сальтирующих частиц на высотах больше 2-3 см. Определены турбулентные потоки пылевого аэрозоля при всплесковой и квазинепрерывной эмиссии.

Изучено аэрозольное загрязнение воздушного бассейна г. Москвы чёрным углеродом (1989-2025). Выявлены периоды очищения и стабилизации. По данным круглосуточных измерений обнаружена сильная межгодовая изменчивость суточного хода массовой концентрации чёрного углерода и тонкодисперсного аэрозоля.

Выполнены пионерские исследования элементного состава аэрозоля в Российской Арктике (1984-2025): чёрный углерод (BC), тяжелые металлы (ТМ) – о. Врангеля, арх. Северная Земля, арктические моря, заповедные территории. Определены потоки BC и ТМ на поверхность морей и заповедных территорий, оценено влияние антропогенных источников и крупномасштабных задымлений. Выявлены механизмы очищения атмосферы арктических регионов.

Дальний перенос аридного аэрозоля в Арктическую зону России: наземные наблюдения и реанализ

Губанова Д.П., Виноградова А.А.

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

gubanova@ifaran.ru

Ключевые слова: пылевой аэрозоль, дальний перенос, траекторный анализ, MERRA-2, микрофизические характеристики, массовая концентрация, AOT, снежный покров, минеральный состав, морфология, Арктика

Минеральная компонента атмосферного аэрозоля оказывает активное и многообразное воздействие на климатическую систему и окружающую среду Арктики. Происхождение арктической пыли связано как с удаленными, так и с локальными источниками. По разным оценкам на локальные, высокоширотные, источники приходится 27-31% массы, но основной вклад в пылевую нагрузку в Арктике вносят удаленные источники [1]. В последние годы проводятся тематические исследования случаев дальнего переноса пылевого аэрозоля из различных географических районов мира в Арктику [2-5]. Однако все еще недостаточно важной информации о механизмах, частоте, количестве, сезонности таких событий, а также об обусловленной ими эволюции различных параметров состояния атмосферы.

В настоящем докладе рассмотрены экспериментально подтвержденные [6, 7] редкие эпизоды дальнего переноса аридного аэрозоля из Арало-Каспийского региона через Европейскую часть России в Западный сектор Арктической зоны РФ. С этой целью обобщены за последние двадцать лет данные наземных наблюдений, выполненных в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН и Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН, результаты измерений состава воздуха на сети станций ГПБУ «Мосэкомониторинг», а также данные реанализа MERRA-2 и траекторного анализа с использованием модели HYSPLIT-4. Описаны статистические показатели метеопараметров, микрофизических и оптических характеристик аэрозолей, а также геохимия снежного покрова в арктических районах Русского Севера, связанные с исследуемыми эпизодами. Уделяется внимание различным типам дальнего переноса аридной пыли в Арктику, обусловленными ими температурным эффектам и эволюции параметров пылевого аэрозоля.

Полученные в данной работе результаты представляют уникальный материал для оценки радиационных эффектов пылевого аэрозоля на разных географических широтах и в различные сезоны, а также для верификации климатических моделей.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИФА РАН № 125020501413-6.

Литература:

1. Böö, S. [et al.] // Tellus B: Chem. Phys. Meteorol. –2023.–V. 75(1).–P. 13–32.
2. Varga, G. [et al.] // Environ. Int. –2023.–V. 180.–P. 108243.
3. Varga, G. [et al.] // Sci. Rep. –2021.–V. 11.–P. 108243.
4. Francis, D. [et al.] // JGR Atmospheres. –2018.–V. 123.–P. 11,899–11,917.
5. Zhao, X. [et al.] // Atmos. Chem. Phys. 2022.–V. 22.–P. 10389–10407.
6. Шевченко, В. [и др.] // ДАН. – 2010.–Т. 431.–№ 5.–С. 675–679.
7. Губанова, Д. [и др.] // ДАН. – 2024.–Т. 519.–№ 2.–С. 133–140.

Моделирование оптических характеристик приземного аэрозоля Западной Сибири с использованием ансамбля модельных реализаций и учётом неопределённости измерений

Зенкова П.Н., Антонов А.В., Панченко М.В.

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

polinazenkova1303@gmail.com

Ключевые слова: аэрозоль, черный углерод, оптические характеристики аэрозоля, неопределённость измерений, ансамбль решений, альбеда однократного рассеяния, коэффициент рассеяния, коэффициент ослабления, комплексный показатель преломления

Точность моделирования оптических характеристик аэрозоля существенно ограничена погрешностями входных параметров, что в условиях высокой изменчивости атмосферы приводит к ошибкам восстановления до 20%. Эмпирические модели, используемые для тропосферы Западной Сибири, особенно чувствительны к таким неопределенностям, что затрудняет получение достоверных оценок радиационных эффектов.

В работе предложен ансамблевый подход, учитывающий инструментальную неопределённость натурных измерений. Методика основана на генерации множества реализаций, в которых входные параметры (коэффициент направленного рассеяния, массовая концентрация эквивалента чёрного углерода, относительная влажность и параметр конденсационной активности) варьируются в пределах своих инструментальных погрешностей. Для каждой реализации рассчитываются комплексный показатель преломления, коэффициенты ослабления и рассеяния, альбеда однократного рассеяния и индикатриса рассеяния с последующим статистическим осреднением по ансамблю.

На примере численных экспериментов для различных типов атмосферных ситуаций (фоновые и пригородные дымки, смог, дымная мгла) показано, что использование ансамблевого среднего позволяет снизить погрешность восстановления оптических характеристик на 10% по сравнению с традиционным детерминированным расчетом по средним значениям. Предложенный подход обеспечивает более устойчивые оценки в условиях высокой изменчивости микрофизических свойств аэрозоля.

Работа была выполнена в рамках гранта РФФИ № 25-27-00111.

Эмиссия метана из тундровых экосистем Тазовского района ЯНАО. Результаты измерений 2023-2025 годов

Казанцев В.С.¹, Ларина А.В.¹, Гаврилов Г.О.¹, Устинов Н.Б.¹, Усачева А.А.^{1,2}, Кривенко Л.А.¹,
Белов А.Е.¹, Свирида Н.М.¹, Цветнова Е.А.¹

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

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

kazantsev@ifaran.ru

Ключевые слова: Арктика, болота, озёра, хасыреи, парниковые газы, Западная Сибирь

В докладе отображены основные результаты изучения эмиссии парникового газа метана тундровыми экосистемами Тазовского района ЯНАО в летний период 2023-2025 годов.

Измерения удельных потоков метана проводились с поверхности тундровых озёр, болот и хасыреев (спущенных озёр) методом статических тёмных камер.

Измеренные удельные потоки метана с поверхности болотных экосистем варьируются от медианных значений $-0.001 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ с поверхности сухих останцов полигонов до $4.7 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ для обводнённых мочажин. Полученные значения удельных потоков хорошо коррелируют со степенью увлажнения торфяной толщи болот.

Для озёрных экосистем выявлена и математически описана суточная динамика изменения удельных потоков метана, которая существенным образом определяется изменением температуры воздуха и придонного слоя воды. Измеренные в 2025 году в ходе суточных наблюдений значения удельных потоков метана находятся в диапазоне от $0,07 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ до $1,87 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Измерения 2023 года удельных потоков метана с поверхности хасырея на участках различного возраста показали существенные различия между элементами микроландшафта. Медианные значения удельных потоков для торфяных мёрзлых бугров: $0.00 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; мочажин: $3.5 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ и увлажнённых мочажин: $7.1 \text{ мгCH}_4 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Полученные результаты показывают высокую неоднородность интенсивности процессов эмиссии и поглощения метана, характерных для различных элементов тундровых экосистем и элементов микроландшафта внутри них.

Исследование выполнено за счёт средств Госзадания «Мониторинг и анализ динамики эмиссии климатически-активных газов из наземных и пресноводных экосистем арктической зоны России, № 1024100700065-0-1.5.10»

Состав микрочастиц в системе «атмосфера–снег–дорожная пыль–почвы–поверхностные воды»

Касимов Н.С.¹, Кошелева Н.Е.¹, Поповичева О.Б.²

¹Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²НИИЯФ, Московский Государственный Университет, Москва, Россия
nskasimov@mail.ru

Ключевые слова: геохимия, микрочастицы

Анализ микрочастиц имеет ключевое значение для понимания механизмов загрязнения окружающей среды и формирования техногенных геохимических аномалий. Разработана методическая база для сопряженного анализа химического состава микрочастиц в транзитных и депонирующих средах. Представлены результаты исследований химического состава микрочастиц в атмосфере (аэрозоли, снег, дожди), педосфере (почвы, дорожная пыль) и наземной гидросфере (речные воды, взвешенные и донные наносы) [1]. На базе Аэрозольного комплекса МГУ (юго-запад Москвы) проанализировано сезонное варьирование концентраций частиц PM₁₀, металлов и металлоидов (ММ), органического и элементного углерода. С помощью рецепторной модели PMF впервые определены вклады транспортных, пылевых, промышленных источников, горения биомасс и антигололедной соли в загрязнение атмосферы Москвы [2]. В подсистеме «аэрозоли–атмосферные осадки» выявлена высокая вымывающая способность осадков по отношению к Pb, Sb, As, Ni, Mg, K, Al и S. В PM₁₀ подсистемы «снег–дорожная пыль–почвы» накапливаются Sb, W, Bi, Sn, Cd, Cu, Pb, Mo и Zn. Частицы PM₁₀ взвеси и донных отложений р. Москвы играют ведущую роль в переносе и аккумуляции Pb, Cu, Ni, V. Ассоциация ММ, накапливающихся во всех компонентах городской среды, включает Sb, Cd, Cu, W, Zn, Pb, Bi, Sn, Mo. Изучение состава микрочастиц, поступающих из антропогенных источников, представляет собой переход от изучения геохимического «макромира» к познанию еще неизвестного в исследованиях окружающей среды геохимического «микромира». Работа выполнена по госзаданию № 103-00001-26-00 Российской академии транспорта.

Литература:

1. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Поповичева О.Б., Чалов С.Р., Безбердая Л.А., Власов Д.В., Ерина О.Н., Лычагин М.Ю., Чичаева М.А., Шинкарева Г.Л. Экогеохимия микрочастиц в окружающей среде. Вестник Московского университета. 2025, т 80, с. 3
2. Popovicheva O., Diapouli E., Chichaeva M., Kosheleva N., Kovach R., Bitukova V., Eleftheriadis K., Kasimov N. Aerosol characterization and peculiarities of source apportionment in Moscow, the largest and northernmost European megacity. STOTEN. 2024: 170315.

Температура мезопаузы по измерениям эмиссии ОН на меридиональной сети инфракрасных спектрографов

Колтовской И.И., Гаврильева Г.А., Аммосов П.П.

Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
koltigor@mail.ru

Ключевые слова: температура, гидроксил, инфракрасный спектрограф

В докладе приводятся результаты исследования вариаций температуры мезопаузы и волновых процессов, полученные при помощи меридиональной сети инфракрасных спектрографов. Приборы регистрируют полосы гидроксила в инфракрасной области (около 1,5 мкм), излучаемые на высоте примерно 87 км. Общепринято, что вращательная температура, вычисленная по полосам гидроксила, соответствует температуре нейтрального газа в области мезопаузы на данной высоте.

Меридиональная сеть состоит из трех идентичных спектрографов, установленных на разных по широте оптических станциях. Базовой точкой является полигон Маймага Института космических исследований и аэронавтики им. Ю. Г. Шафера СО РАН, расположенный в 120 км к северу от г. Якутска, в районе с низким уровнем антропогенного светового загрязнения. Постоянная регистрация полос гидроксила ОН(3-1) ведется здесь с 2014 года. Спектры молекулы гидроксила, излучаемые на высоте около 87 км, регистрируются в автоматическом режиме при угле погружения Солнца более 9° каждую минуту и передаются ежесуточно через интернет на сервер Института.

С 2015 года аналогичный инфракрасный спектрограф был установлен на станции Полярной геофизической обсерватории «Тикси», а с 2017 года — на наблюдательном пункте в г. Нерюнгри. Измерения проводились в ночное время при угле погружения Солнца более 9° в безоблачную и малооблачную погоду. Эмиссии гидроксила регистрировались с экспозицией 60 секунд. Далее с использованием общеизвестной методики вычислялась вращательная температура. Таким образом, в докладе будет сделано сравнение температуры атмосферы в области мезопаузы на трех разных широтах: авроральной (Тикси), субавроральной (Маймага) и средней (Нерюнгри).

Потоки углекислого газа на поверхности Черного моря

Коновалов С.К., Орехова Н.А., Медведев Е.В.

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

director@mhi-ras.ru

Ключевые слова: Углекислый газ (CO_2), потоки и газообмен на поверхности моря, Черное море

Углекислый газ (CO_2) относится к климатообразующим газам. В настоящее время наблюдается непрерывный рост концентрации CO_2 в атмосфере. Одним из значимых стоков CO_2 является Мировой океан. Именно по этой причине исследование потоков CO_2 на морской поверхности и процессов, определяющих направление и величину этого потока, является исключительно важной научной задачей, имеющих фундаментальное и прикладное значение. При этом перераспределение углерода между атмосферой и гидросферой часто воспринимается как однонаправленный процесс поглощения атмосферного CO_2 водами океана, хотя этот процесс, может включать как поглощение, так и выделение CO_2 . Направление и величина формирующегося на границе «вода – атмосфера» потока CO_2 зависят, прежде всего, от соотношения величин парциального давления CO_2 ($p\text{CO}_2$) в атмосфере и равновесного парциального давления CO_2 в поверхностном слое вод. Другим важным фактором формирования потока CO_2 между водой и атмосферой является состояние морской поверхности, скорость ветра, а также величина растворимости CO_2 в морской воде в зависимости от температуры и солености воды.

Целью данной работы является анализ внутригодовых изменений величин и направления потока CO_2 на границе с атмосферой для Черного моря на основании данных прямого определения концентрации CO_2 в поверхностном слое вод и приводном слое атмосферы, оценка роли гидрометеорологических условий и процессов формирования градиента CO_2 в определении величины потока CO_2 .

Роль современной разгрузки глубинных флюидов в морях европейского сектора Арктики в эмиссии метана в атмосферу

Кравчишина М.Д.¹, Швед В.А.¹, Калгин В.Ю.¹, Пестунов Д.А.², Штабкин Ю.А.³,
Сломнюк С.В.¹, Рогова З.М.^{1,4}, Кловиткин А.А.¹, Новигатский А.Н.¹, Баранов Б.В.¹,
Анисимов И.М.¹, Севастьянов В.С.⁵, Стрелецкая И.Д.⁴

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

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

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

⁴Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁵Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

kravchishina@ocean.ru

Ключевые слова: арктические моря, дегазация метана, метановые сипы, субаквальная мерзлота

Одна из особенностей морей Европейской Арктики – это скопление крупных залежей углеводородов, наличие «газовых труб» в осадочной толще, связанных с активной дегазацией недр, протяженных зон струйно-пузырьковой разгрузки метана (холодных метановых сипов) и других признаков дегазации осадков, так называемых, флюидогенных форм рельефа, обусловленных «холодной» разгрузкой флюидов (кратеры, покмарки, пинго). Чередование эпох оледенений и более теплых межледниковий в рамках четвертичного периода сопровождалось этапами накопления и высвобождения, соответственно, значительных объемов метана из осадочных толщ в Арктике. Метан, заключенный в осадочной толще шельфовых морей, уязвим к изменению климата.

В докладе обсуждается роль арктических морей, испытывающих быстрый климатический сдвиг с начала 2000-х гг., в эмиссии метана на основе морских экспедиционных исследований системы «донные осадки – водная толща – граница контакта вода – атмосфера» по программе ИО РАН «Европейская Арктика: геологическая летопись изменений окружающей среды и климата». Впервые для Западно-Арктического шельфа Евразии получены массовые данные о концентрации растворенного метана в осадках и водной толще, что позволило получить надежные представления о пространственном распределении метана в морской воде, а также выявить области наибольшей дегазации метана из осадочной толщи. Впервые с применением камерного метода, разработанного в ИОА СО РАН, выполнены массовые измерения потоков метана на границе контакта «вода–воздух». Изучены известные по данным литературы районы разгрузки метаносодержащих флюидов и обнаружены новые источники (сипы на шельфе Западного Ямала). В составе углеводородных флюидов часто преобладает метан: как правило, микробный (диагенетический) и смесь микробного и термогенного (катагенетического). Наиболее значимым районом разгрузки метана стала область распространения субаквальной мерзлоты в восточной части Печорского и юго-западной части Карского морей. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (№ 25-17-00334, <https://rscf.ru/project/25-17-00334/>).

Протоны и альфа-частицы земного и космического происхождения, как источники пополнения водорода и гелия в экзосфере Земли

Лапшин В.Б., Лобов А.С.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
lobov.as22@physics.msu.ru

Ключевые слова: атомарные водород и гелий, диссипация, радиоактивный распад, экзосфера Земли, протоны солнечных и галактических космических лучей

Предложен сценарий пополнения экзосферы Земли атомарным водородом космического происхождения. Наблюдаемое постоянство общего содержания водорода в экзосфере свидетельствует о том, что скорости пополнения водорода за счёт высыпаний из радиационных поясов и диссипации в космическое пространство совпадают по порядку величины. Основным источником водорода в экзосфере являются протоны солнечных и галактических космических лучей, а также солнечного ветра, захваченные радиационными поясами Земли. Основной областью пополнения экзосферы водородом являются область Южно-Атлантической магнитной аномалии и частично полярные зоны. Также были проведены оценки диссипации гелия из экзосферы в космическое пространство и проведено сопоставление с притоком альфа-частиц, которые после термализации (потери энергии при взаимодействии с газовым составом атмосферы и геомагнитным полем) становятся ядрами гелия. Также была выполнена оценка общего количества частиц гелия, содержащегося в исследуемом шаровом слое экзосферы от 700 до 2500 км, которая по порядку величин совпала с диссипацией гелия за 1 год из экзосферы. В результате выявлено незначительное влияние на суммарное количество гелия, содержащегося в экзосфере, космической радиации, а именно солнечных и галактических космических лучей (СКЛ и ГКЛ). Полученные результаты в предположении квазистационарности газового состава экзосферы позволяют сделать предварительный вывод о том, что основной источник пополнения гелием экзосферы находится в нижележащих слоях атмосферы.

Литература:

1. Бакулин П.И., Кононович Е.В., Мороз П.И. Общий курс астрономии. М.: Наука, 1977. 544 с.
2. Бьютнер Э.К. // ДАН. 1959. Т. 12. № 1. С. 53–56.
3. Скуридин Г.А., Плетнев В.Д., Шалимов В.П., Швачунов И.Н. // Земля и Вселенная. 1965. № 4. С. 12–23.
4. Гальпер А.М. // Сорос. образ. журн. 1999. № 6. С. 75–81.
<http://www.kosmofizika.ru/abmn/galper/galper.htm>
5. Редерер Х. Динамика радиации, захваченной геомагнитным полем: Пер. с англ. М.: Мир, 1972. 192 с.

**Изучение рисков здоровью вследствие динамики дальнего
загрязнения атмосферы и погодно-климатической комфортности
в некоторых курортных районах юга РФ в условиях
меняющегося климата до 2050 г.**

Матешева А.В.¹, Емелина С.В.^{1,2}

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

²*Гидрометцентр России, Москва, Россия*

matesheva@ifaran.ru

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, перенос примесей, комфортность, изменение климата, риск здоровью

Проводится исследование влияния динамики дальнего атмосферного переноса примесей и комфортности погодно-климатических условий на риски здоровью человека в районах крупных курортов РФ с целью уточнения их оздоровительного потенциала в условиях изменяющегося климата. Получены оценки тенденций рисков здоровью в 1980-2050 гг. с учетом сценариев климата SSP245 и SSP585 для ряда курортных районов на юге России (Кавминводы, Феодосия, Сочи) на основе методологии оценки риска здоровью от загрязнения окружающей среды U.S. EPA, решения сопряженной задачи переноса и диффузии примеси, расчетов биометеорологического индекса эффективной температуры. Выполнена интегральная оценка тенденций риска от рассматриваемых факторов.

Показано, что в изучаемых районах к 2050 г. ожидается незначительная динамика риска в связи с изменением погодно-климатической комфортности и уровня загрязнения атмосферы, обусловленного дальним переносом. Общим для всех районов является тренд на несущественное усиление опасности зимой: для Черноморских курортов – по обоим сценариям, для Кавминвод – по сценарию SSP245 и, в наибольшей степени, за счет усиления притока загрязняющих примесей. В остальные сезоны в районе Кавминвод по обоим сценариям ожидается незначительное снижение риска. Весной в районе Сочи динамика риска малозаметна, лишь в Феодосии возможно небольшое снижение опасности при сценарии SSP585 относительно 1980-1990 гг. Летом для обеих курортных зон Черноморского побережья характерно снижение риска. Осенью в районе Феодосии риск также незначительно снижается относительно последних десятилетий, в то время как в районе Сочи опасность немного возрастает относительно 1980-1990 гг. при сценарии SSP245 (что обусловлено, главным образом, за счет ухудшения комфортности погодных условий).

Работа выполнена в рамках гос. задания ИФА РАН (тема FMWR-2025-0001, проект № 1022041300341-3-1.5.10) при частичной поддержке программы «Приоритет-2030» (СТП № 1 РУТ (МИИТ) и гос. задания от 15.01.2026 № 103-00001-26-00.

Влияние характеристик турбулентного рассеяния на концентрацию загрязнителя в модели гауссового факела по измеренным параметрам температурных инверсий пограничного слоя атмосферы

Миллер Е.А.¹, Лезина Е.А.², Лукьянов А.Н.³, Баранов Н.А.⁴

¹ООО "НПО "АТТЕХ"", Долгопрудный, Россия

²ГПБУ Мосэкомониторинг, Москва, Россия

³Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Россия

⁴Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия

tissary@gmail.com

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, перенос примесей, гауссова модель факела, инверсии температуры, температурные профиломеры

Представлены результаты применения модели гаусса для расчета полей концентраций московского мегаполиса по данным измеренных профилей температуры.

Гауссова модель распространения загрязняющих примесей относится к классу аналитических полуэмпирических моделей. Она является прямым следствием точного аналитического решения уравнения переноса-диффузии для точечного стационарного источника. Эмпирический характер гауссовой модели заключается в использовании статистически подобранных зависимостей коэффициентов диффузии как функций расстояния от источника. Использование эмпирических зависимостей для коэффициентов диффузии обусловлено необходимостью учесть высотную вариативность параметров турбулентности атмосферы в нижнем пограничном слое атмосферы. При этом следует отметить, что эти зависимости учитывают как тип стратификации атмосферы (масштаб турбулентности), так и тип подстилающей поверхности (параметр ее шероховатости).

Технология расчета полей концентраций по гауссовой модели атмосферной диффузии с применением измерений температурной стратификации в реальном времени была проверена по данным постов контроля уровня загрязнений ГПБУ "Мосэкомониторинг" в 2025 году.

В качестве источника данных о динамике температурной стратификации в пограничном слое атмосферы использовались результаты измерений профилей температуры в слое до 1 км от земли метеорологическими температурными профиломерами МТР-5.

Представлены результаты расчётов для различных классов устойчивости атмосферы, а также степень влияния приподнятой инверсии на приземную концентрацию при расчете как газовых загрязняющих веществ, так и частиц PM₁, 2.5 и 10.

Мониторинг массовой концентрации черного углерода с 2018 по 2025 год в приземном слое воздуха в Центральной Якутии

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

Якутский научный центр СО РАН, Якутск, Россия

mordovskoipg@yandex.ru

Ключевые слова: черный углерод, временные вариации

Непрерывный мониторинг массовой концентрации черного углерода в воздухе проводили на лесной научной станции «Спасская падь» на высоте 10 метров от уровня земли с использованием абсорбционного фотометра COSMOS BCM3130 (Kanomax, Japan) [1] с частотой измерения 1 мин. В приборе COSMOS BCM3130 через систему внешних насосов наружный воздух проходит через рулонный фильтр, которые автоматически прокручивается при достижении заданного уровня загрязнения фильтра. Для удаления органических веществ (англ. VOCs, volatile organic compounds) и влаги в наружном воздухе, которые влияют на абсорбцию света на фильтре, измеряемый поток воздуха проходит через внешнюю печь с постоянной температурой 300°C.

Максимальные значения зафиксированы в период повышенной задымленностью от природных пожаров и достигают от 5 до 30 мг/м³. В 2025 году наблюдались низкие массовые концентрации черного углерода в летний период, максимальные значения ниже 2 мкг/м³, среднемесячные массовые концентрации черного углерода не превышали 0,2 мкг/м³. Увеличение концентраций черного углерода в зимние месяцы обусловлены низкой скоростью осаждения черного углерода и снижением циркуляции приповерхностного слоя воздуха при низких температурах, снижением влажности и скорости переноса химических веществ в атмосфере к поверхности земли при выпадении снега. Полученные значения превышают значения данных мониторинга в поселке Тикси в Арктической зоне Якутии в 2012-2014 годах [2].

Литература:

1. 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. Т. 54. С. 1–24.
2. Виноградова, А. А. и др. Эпизоды аномально высокой концентрации черного углерода в приземном воздухе в районе станции Тикси, Якутия // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31, № 10. – С. 837-844.

Воспроизведение эпизодов высоких концентраций приземного озона в г. Кисловодске: оценка эффективности модели Chimere

Нахаев М.И.^{1,2}, Семенов В.А.^{1,2,3}, Чернокульский А.В.^{1,2,3}, Беликов И.Б.¹, Белоусов В.А.¹,
Артамонов А.Ю.¹

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

²Российский университет транспорта, Москва, Россия

³Институт географии РАН, Москва, Россия

nakhaev@ifaran.ru

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, численное моделирование, химическая транспортная модель, приземный озон

Моделирование загрязнения атмосферы в горных регионах остается актуальной задачей из-за сложного взаимодействия рельефа с атмосферной динамикой и неопределённости в данных о выбросах. В работе выполнена оценка эффективности применения химико-транспортной модели модели Chimere для условий курортного региона г. Кисловодска. Для валидации ХТМ использованы почасовые инструментальные измерения концентраций СО и О₃, полученные на автоматической станции мониторинга Высокогорной научной станции ИФА им. А.М. Обухова РАН. Статистический анализ показал удовлетворительное согласие расчётных и измеренных концентраций, находящиеся на уровне современных отечественных и зарубежных аналогичных работ. Показано, что в г. Кисловодске эпизоды с превышением 8-часового норматива (100 мкг/м³) наблюдаются в период с начала марта до конца сентября, наибольшая частота подобных явлений фиксируется в июле-августе. Проанализированы условия формирования высоких концентраций О₃.

Исследование подтверждает эффективность применения комплекса WRF-Chimere для мониторинга и прогноза качества воздуха в курортных регионах со сложной топографией. Полученные результаты могут служить основой для проведения фундаментальных и прикладных научных исследований, направленных на изучение механизмов формирования периодов неблагоприятных экологических условий.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-77-31009.

Оценка и коррекция коэффициента поглощения света частицами, полученного с помощью аэталометра AE-33 в ходе натурных измерений на фоновой станции ZOTTO

Небосько Е.Ю.¹, Власенко С.С.¹, Михайлов Е.Ф.¹, Ивахов В.М.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
zhenia84@gmail.com

Ключевые слова: аэталометр AE-33, поправочный коэффициент многократного рассеяния

В настоящее время одним из приборов, наиболее широко используемых в международных сетях мониторинга для наземных измерений поглощающих свойств атмосферных аэрозольных частиц, является многоволновой аэталометр AE-33 (Magee Scientific, Словения). AE-33 рассчитывает коэффициенты поглощения аэрозольных частиц на семи различных длинах волн методом измерения оптического ослабления света, проходящего через фильтр, на котором непрерывно собираются частицы. Поправочный коэффициент многократного рассеяния является параметром, обладающим как наибольшей неопределенностью, так и наибольшим влиянием на коэффициенты поглощения, полученные на основе измерений AE-33. В докладе анализируются данные совместных измерений аэталометра AE-33, одноволнового (574 нм) фотометра сажи PSAP (Particle/Soot Absorption Photometer, Radiance Research, США) и трехволнового интегрирующего нефелометра (TSI 3563, США), проведенных на фоновой станции высотной мачты ZOTTO, расположенной в зоне бореальных лесов Центральной Сибири, в период с 24 июля по 02 октября 2025 года.

Во время измерений преобладали ситуации с очень низкими значениями коэффициента поглощения. Поэтому при анализе были использованы те данные, для которых исходный среднечасовой коэффициент поглощения, измеренный AE-33 и интерполированный на длину волны 574 нм, был выше 1 Мм^{-1} . Эталонными данными коэффициента поглощения были приняты значения фотометра PSAP. Согласно [1], поправочный коэффициент многократного рассеяния S хорошо приближается функцией, зависящей от альбедо однократного рассеяния (SSA): $C = C_f + m_s \cdot \text{SSA} / (1 - \text{SSA})$, где C_f – параметр, зависящий исключительно от свойств фильтра, m_s – параметр перекрестной чувствительности к рассеянию. Методом множественной линейной регрессии были получены следующие оценки параметров: $C_f = 2.78 \pm 0.04$, $m_s = 0.043 \pm 0.002$, $C = 3.27 \pm 0.06$.

Работа выполнена при поддержке НИР СПбГУ № 124032000029–9. Для измерений использовалось оборудование РЦ «Геомодель» Научного парка СПбГУ.

Литература:

1. Yus-Díez J. Determination of the multiple-scattering correction factor and its cross-sensitivity to scattering and wavelength dependence for different AE33 Aethalometer filter tapes: a multi-instrumental approach / J. Yus-Díez, V. Bernardoni, G. Močnik, A. Alastuey, D. Ciniglia, M. Ivančič, X. Querol, N. Perez, C. Reche, M. Rigler, R. Vecchi, S. Valentini, M. Pandolfi // Atmos. Meas. Tech. — 2021. — V. 14. — P. 6335–6355.

Влияние солнечных протонных событий на аэрозольное наполнение средней атмосферы

Николашкин С.В., Титов С.В., Евсеев У.Н.

Институт космических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
nikolashkin@ikfia.ysn.ru

Ключевые слова: солнечные протонные события, атмосферная аэрозоль, лидарное зондирование, средняя атмосфера

Приводятся результаты исследований влияния солнечных протонных событий во время выбросов корональной массы с энергией более 1МэВ на интегральное аэрозольное наполнение атмосферы. По результатам лидарных измерений и данных солнечных фотометров в Якутске, показано, что во время солнечных протонных событий начинает развиваться замутненность атмосферы, при этом аэрозольное наполнение отмечается также в стратосфере. После сильной геомагнитной бури аэрозоли регистрируются также в мезосфере. Спустя 6–7 дней после протонного события наблюдается рост количества атмосферного аэрозоля – вначале в мелкой фракции, затем спустя 1–2 дня и в более крупной фракции, которые, позднее выражаются в образовании конденсированных капель воды (облачности).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН».

Черный углерод как климатически активная компонента атмосферы в Западносибирском секторе Арктики: природные и антропогенные источники

Поповичева О.Б.¹, Чичаева М.А.², Слободян В.Ю.³, Касимов Н.С.²

¹НИИЯФ, Московский Государственный Университет, Москва, Россия

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

³Институт экологического проектирования и изысканий, Москва, Россия

olga.popovicheva@gmail.com

Ключевые слова: черный углерод, аэрозольное загрязнение, Арктика

Оценки экологического состояния атмосферы и климатических изменений сильно усложнены существующим недостатком знаний о составе и источниках аэрозольных загрязнений, определяющих воздействие на климат Арктики. В связи с устойчивыми тенденциями глобальных изменений исследования техногенных и природных эмиссий, ориентированные на черный углерод как наиболее климатически значимую компоненту загрязненной атмосферы, являются наиболее значимыми. Развита технология экодиагностики атмосферы и анализа источников аэрозольного загрязнения арктического региона. На базе Аэрозольного комплекса МГУ, расположенного на острове Белый, на пути выноса воздушных масс из промышленных районов Сибири в Арктику проведены непрерывные четырехлетние исследования степени аэрозольной нагрузки, трендов сезонной изменчивости в периоды арктической дымки и лесных пожаров, фоновые концентрации и эпизоды загрязнений черного углерода [1]. На основе дисперсионной транспортной модели переноса в шлейфах крупномасштабных антропогенных и пожарных эмиссий впервые проведены количественные оценки вкладов различных секторов с учетом пространственно-временного распределения эмиссий черного углерода. Показано, что Западносибирский сектор Российской Арктики особенно подвержен воздействию эмиссий нефтегазодобывающего комплекса, транспорта, отопления и природных пожаров. Летом на смену уменьшающемуся антропогенному загрязнению выбросами промышленных установок факельного сжигания газа приходят воздушные массы из регионов Сибирских пожаров с характеристиками стареющих дымов лесных пожаров. Работы выполнены при поддержке РГО и ИЭПИ.

Литература:

1. Popovicheva, O.B., Chichayeva, M.A., Evangeliou, N., Eckhardt, S., Diapouli, E. and Kasimov, N.S. (2025). Multi-Year Black Carbon Observations and Modeling Close to the Largest Gas Flaring and Wildfire Regions in the Western Siberian Arctic. *Atmospheric Chemistry and Physics* 25: 7719-7739.

Об восстановлении полей содержания и источников двуокиси азота в тропосфере по измерениям КА серии Ресурс-П

Постыляков О.В.¹, Боровский А.Н.¹, Макаренков А.А.², Мухартова Ю.В.³, Христова А.С.^{1,3}, Чуличков А.И.^{1,3}

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

²Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

oleg.postylyakov@gmail.com

Ключевые слова: двуокись азота, дифференциальная спектроскопия, космические измерения, Ресурс-П, гиперспектральная аппаратура, химико-транспортное моделирование, смещенная линейная оценка, квадратичное программирование

Семейство окислов азота ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) играет главную роль в образовании озона в тропосфере и его разрушении в стратосфере. С 2013 года на солнечно-синхронной орбите работает серия спутников Ресурс-П. Гиперспектральная аппаратура (ГСА), установленная на борту Ресурс-П, регистрирует рассеянное солнечное излучение в спектральном диапазоне 430–520 нм, который используется для определения содержания в атмосфере такой примеси как диоксид азота. Мы разработали метод определения 2D поля содержания NO_2 в столбе в нижней тропосфере по измерениям ГСА Ресурс-П, который позволяет получить содержание NO_2 с пространственным разрешением около 2.4 км при типичной для космических измерений точности 1.0×10^{15} молек/см² на сетке представления данных 120 м [1], что превышает пространственное разрешение других современных спутниковых инструментов. Его использование позволило в 2016 году впервые выявить точечные антропогенные источники примеси масштаба предприятия по измерениям из космоса [1]. Для интерпретации измерений разработана химико-транспортная модель с высоким пространственным разрешением [2]. По полученным высокодетальным 2D полям содержания NO_2 решается обратная задача определения распределения источников примеси. На первом этапе на основе транспортно-химической модели был получен шлейф распределения NO_2 от точечного стационарного источника. Также показано, что при наблюдаемых концентрациях NO_2 концентрация в шлейфе хорошо описывается линейной зависимостью от мощности выбросов NO_x . Сравниваются несколько методов решения поставленной обратной задачи и результаты их применения к съемке ГСА/Ресурс-П.

Работа выполнена за счет средств государственных заданий ИФА им. А.М. Обухова РАН, регистрационный номер темы 1022041800069-7-1.5.9, и МГУ им. А.М. Ломоносова.

Литература:

1. Postylyakov, O.V. et al. First experiment on retrieval of tropospheric NO_2 ... with 2.4-km spatial resolution basing on satellite ... Proc SPIE 2017; doi: 10.1117/12.2285794
2. Мухартова Ю.В. и др. Моделирование переноса окислов азота с учетом химических трансформаций с помощью RANS и LES моделей. Труды ENVIROMIS 2024, 56-61
3. О.В. Постыляков и др. Об определении содержания и источников диоксида азота в тропосфере по измерениям КА серии Ресурс-П. Совр. пробл. ДЗЗ из космоса, 2026, в печати.

Атмосферные переносы аэропланктона как возможная причина пандемий в глобальных минимумах солнечной активности

Рагульская М.В.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН,
Москва, Россия*

ra_mary@mail.ru

Ключевые слова: атмосферный перенос аэропланктона, галактические космические лучи, разномасштабные циклы солнечной активности

Развитие вирусных пандемий зависит от сочетания разномасштабных циклов солнечной активности (СА). Так, число вирусных пандемий в минимумах 11-летнего цикла возрастает втрое в минимумах квази-столетнего цикла Гляссберга [1]. По данным ВОЗ, эффективность локдаунов при пандемии Covid-19 (в минимумах цикла Гляссберга и цикла Швабе), была около 1 %. Эпидемии кори происходят и в максимумах, и в минимумах циклов СА[2]. Для одновременного объяснения механизмов взрывных мутаций вирусов в минимумах СА при низкой эффективности социальных локдаунов, выдвинута гипотеза атмосферного круговорота и мутаций вирусов, связанного с циклами СА и космических лучей (КЛ). На высоте 5 км биоэффективность КЛ возрастает на порядок, на высотах 11 км – на 2 порядка) [3]. Предполагается подъем вирусов с аэропланктоном в атмосферу на высоты до 11-15 км, их мутации под воздействием КЛ и коротковолнового излучения Солнца, и последующее выпадение мутировавших вирусов с дождями на поверхность Земли на расстояниях до 2.5 -3 тыс. километров от очага вирусной эпидемии. При этом в атмосферных слоях возникают локальные долгоживущие области с повышенной концентрацией вирусов, или устойчивые потоки. Цикличность мутаций привязана к максимумам солнечных КЛ и коротковолнового излучения Солнца в максимуме СА, и к максимуму галактических КЛ в минимуме цикла СА. Дальнейшее оседания влаги на аэропланктоне при образовании облаков способствует последующему выпадению осадков, несущих мутировавшие в верхних слоях тропосферы колонии вирусов и бактерий обратно в приповерхностную атмосферу, почву и в водоемы. Этот механизм обеспечивает атмосферный круговорот и мутации вирусов/аэропланктона, и возникновение вирусных пандемий в любых экстремумах СА, а также неэффективность локдаунов.

Изучение динамики атмосферной биосферы Земли под воздействием космической погоды, СА, аэрономической динамики слоев атмосферы представляет ценность при моделировании возможных биосфер экзопланет.

Литература:

1. Рагульская М.В. // Геомагнетизм и аэрономия, 2023, Т. 63. №7. С. 122
2. M. Ragulskaaya, V. Obridko. Heliogeophysical Features and Viral Epidemics 21st Century. GA, 2024, Vol. 64, No. 8, pp. 86–92
3. Рагульская М., Снытников В. // 26-я конференция «Физика плазмы-2026», ИКИ, С.373

Особенности анализа долговременных спутниковых рядов при оценке трендов состава атмосферы и эмиссий парниковых газов

Ракиitin В.С., Федорова Е.И., Еланский Н.Ф.Ф.

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

vadim@ifaran.ru

Ключевые слова: состав атмосферы, дистанционное зондирование, спутниковые и наземные наблюдения, тренды, валидация, методы коррекции

При исследовании разнопериодных вариаций состава атмосферы, включая долговременные тренды и оценки эмиссий, широко используются данные т.н. «долголетающих» орбитальных приборов, или «приборов старшего поколения». Общеизвестно, что обеспечение точности спутниковых измерений подразумевает постоянный контроль их качества. При этом многие работы, посвященные валидации спутниковых данных подробно разбирают спектроскопические и климатические причины несоответствия орбитальных рядов и данных высокоточных наземных и самолетных измерений, не принимая во внимание дрейф параметров самих спутниковых приборов.

В настоящей работе по результатам анализа долговременных измерений орбитального прибора AIRS предлагается относительная простая методика оценки дрейфа качества измерений любого орбитального ряда и его последующей динамической коррекции. На основе результатов валидации данных по метану новейших продуктов AIRS v6 и v7 оценивается эффективность предложенной методики.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о существенном улучшении параметров соответствия данных по метану AIRS v6 и v7 наземным рядам спектроскопических мониторинговых сетей NDACC и TCCON, а также о сближении оценок трендов концентрации метана после проведенной коррекции рядов AIRS.

Также приводятся предварительные оценки долговременного дрейфа качества измерений нескольких атмосферных примесей других орбитальных приборов.

Оценки региональных потоков углерода в Центральной Сибири с 2009 по 2021 год по данным наземных и спутниковых измерений

Рублев А.Н.¹, Голомолзин В.В.², Горбаренко А.В.³, Киселева Ю.В.¹

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

²Сибирский центр ФГБУ «НИИЦ «Планета», Новосибирск, Россия

³Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

rublev@ifaran.ru

Ключевые слова: потоки углерода, обсерватория ZOTTO, вертикальные профили концентраций, Центральная Сибирь, NDVI, MODIS

На основе методики определения потоков углерода по профилям объемной концентрации CO_2 на высотной мачте обсерватории ZOTTO, разработанной в [1], получены региональные оценки часовых, месячных и годовых потоков углерода за 13 лет (2009-2021 гг.). Известно, что основным источником погрешности при определении потоков углерода по измерениям его концентрации на высотных мачтах является неопределенность в оценках высоты слоя перемешивания атмосферы. Проведенная валидация методики [1] показала, что используемый в ней подход существенно уменьшает влияние этой неопределенности. Так, в летние месяцы систематическое занижение среднемесячных потоков углерода не превышает 5 гС/мес . В зимнее время, когда высота слоя перемешивания мала, систематическая погрешность оценок потоков практически отсутствует.

Используя полученные результаты, построены регрессионные модели для оценок летних среднемесячных потоков углерода с 2009 по 2021 гг.. Предикторами моделей являются вегетационный индекс (NDVI) растительности, определенный радиометрами MODIS спутников Terra и Aqua (NASA, US), а также среднемесячные температуры воздуха и количества осадков по данным наблюдений на метеостанции «Бор», расположенной в 85 км от обсерватории ZOTTO. Наибольшая среднеквадратическая погрешность регрессии (менее 25% от среднего) наблюдается при оценке августовских среднемесячных потоков.

Литература:

1. Рублев А.Н., Голомолзин В.В., Горбаренко А.В. Ю.В. Киселева. Определение потоков углерода в Центральной Сибири по измерениям концентрации CO_2 на высотной мачте обсерватории ZOTTO. Москва. «Известия РАН. Физика атмосферы и океана», 2025, в печати

Определение доминирующих источников загрязнения воздуха в Академгородке г. Томска на основе содержания углерода, азота и их изотопных характеристик в атмосферном аэрозоле, мхах и лишайниках

Симонова Г.В.¹, Маркелова А.Н.¹, Давыдкина А.Е.^{1,2}

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

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

galina_simonova@inbox.ru

Ключевые слова: источники загрязнения, атмосферный аэрозоль, эпифитные мхи и лишайники, δ^{13C} , δ^{15N}

Ухудшение качества городского воздуха – серьезная проблема мирового масштаба[1]. Взвешенные частицы и газовые примеси, содержащие углерод и азот, входят в перечень основных загрязнителей, подлежащих мониторингу [2]. Цель исследования заключалась в оценке сезонной изменчивости и выявлении потенциальных источников углерод - и азотсодержащих примесей в воздушной среде Академгородка г. Томска. Проведены измерения процентного содержания С, N и их изотопные характеристики (δ^{13C} , δ^{15N}) в пробах атмосферного аэрозоля, отобранных в течении года на метеоплощадке Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН и в образцах эпифитных мхов и лишайников. Анализ перечисленных параметров и траекторий движения воздушных масс (HYSPLIT) показал, что изотопные характеристики атмосферного аэрозоля имеют сезонный ход и связаны с определенными источниками выбросов. Высокое среднее значение δ^{13C} (-25.9 ± 0.5 ‰) и самое низкое среднее значение δ^{15N} (1.8 ± 2.5 ‰) в отопительный сезон подтверждают наличие сажевых частиц угольного происхождения от городской теплоэлектростанции ГРЭС-2. В весенний период зафиксирован наибольший разброс значений δ^{13C} . В пробах взвешенных частиц доминирует пыльца растений с наиболее низкими значениями δ^{13C} и частицы, образовавшиеся при сжигании прошлогодней травы, с высокими значениями. Выявлен недооцененный источник азотсодержащих частиц в летне-осенний период, когда максимально высокие значения δ^{15N} (>12 ‰) были зафиксированы во время движения воздушных масс с северо-восточного направления, где расположена птицефабрика. Ее влияние прослеживается и при исследовании образцов мхов и лишайников. Содержание общего азота в пункте отбора у птицефабрики (2,44 %) выше, чем в Академгородке (1,76 %), а значения δ^{15N} отличаются в 2 раза, что указывает на необходимость уделять особое внимание изучению биоаэрозолей от животноводческих предприятий.

Исследование проведено в рамках госзадания ИМКЭС СО РАН. Приборы предоставлены Центром коллективного пользования ТНЦ СО РАН.

Литература:

1. Airborne Particulate Matter. Impact on Human Health and Environment / P. K. Padhy, S. Niyogi, P. K. Patra, M. Hecker. – Switzerland: Springer Cham, 2025. – 218 p.
2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений: Гигиенические нормативы, с изменениями, утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 31.05.2018 №37.—М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2019.—55 с.

Численное моделирование формирования озоновых мини-дыр в Арктике и Субарктике

Смышляев С.П.¹, Варгин П.Н.^{1,2}, Цветкова Н.Д.²

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

²Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Россия

smyshl@rshu.ru

Ключевые слова: стратосфера, озон, Арктика, Субарктика, численное моделирование, фотохимия

Химико-климатические модели ИВМ РАН – РГТМУ и SOCOLv3 с ассимилированными из данных реанализа метеорологическими полями используются для исследования относительно вклада динамических и фотохимических процессов в формирование наблюдаемых в отдельные годы эпизодов сильного понижения содержания озона (озоновых мини-дыр) в зимне-весенний период. Расчеты выполнялись для периода с 2000 по 2025 годы по нескольким сценариям, учитывающим и не учитывающим газофазные и гетерогенные процессы на полярных стратосферных облаках (ПСО) и стратосферном аэрозоле.

Результаты моделирования показали, что динамические процессы играют главную роль в аномальных значениях общего содержания озона (ОСО) в Арктике и Субарктике в зимне-весенний период. Химические реакции также способствуют разрушению озонового слоя, при этом максимальное химическое разрушение наблюдается весной. Влияние гетерогенных химических процессов на полярные стратосферные облака менее значительно, чем влияние газофазных химических реакций и гетерогенных химических процессов на сульфатный аэрозоль. Однако химические процессы на полярных стратосферных облаках вносят заметный вклад в краткосрочные минимумы озона.

Анализ рассчитанных моделью изменений в различных высотных диапазонах показал, что основные изменения наблюдаются в нижней стратосфере (10–20 км), особенно в начале и середине зимы. Содержание оксида хлора выше на высотах 20–30 км в начале зимы и увеличивается на высотах 10–20 км во второй половине года. Содержание оксида азота, которое, с одной стороны, определяет интенсивность азотного каталитического разрушения озона, а с другой стороны, характеризует денитрификацию, которая предотвращает нейтрализацию галогенного разрушения озона, увеличивается с февраля по март. Это говорит о том, что конкуренция между азотом и хлором, разрушающими озон, способствовала формированию пониженных значений ОСО.

Возмущения поля иона H^+ на орбите КА «Метеор»

Тертышников А.В.

Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, Москва, Россия

atert@mail.ru

Ключевые слова: масс-спектрометр, ион, водород, "Метеор", плотность, поле, морфология, технология

С 2019 г. на КА "Метеор" бортовыми масс-спектрометрами проводятся измерения газового состава атмосферы. Накоплены большие массивы инструментальных измерений. Усовершенствованные масс-спектрометры решают задачи зондирования ионного состава атмосферы [1] и выполнены по техническому решению [2].

Для анализа инструментальных измерений разработана технология восстановления среднесуточного поля плотности ионов по результатам повитковых измерений на высоте КА "Метеор". Для интерполяции данных в узлы регулярной географической сетки используется разложение в ряд по сферическим функциям по всем измерениям плотности каждого иона за сутки и алгоритм LSQR (Least Squares, QR разложение). Он аналогичен методу сопряженных градиентов для решения разреженных систем уравнений типа $Ax = b + C$, где A — матрица с m строками и n столбцами, b — m -вектор, C — скаляр.

Итерационный численный метод расчета основан на процессе bidiagonalизации Голуба-Кахана с генерированием последовательности приближённых решений с постепенным улучшением нижней bidiagonalной матрицы. Использование такого подхода обусловлено, в частности, высокой чувствительностью аналогово-цифрового преобразователя масс-спектрометра.

Приведены примеры восстановленных карт для плотности иона H^+ . В их морфологии выявлены структуры разного масштаба, от планетарного до регионального. Прослеживается межсуточная эволюция поля плотности H^+ над Южно-Атлантической магнитной аномалией, зона магнитного экватора, потенциальные зоны формирования плазменных пузырей («Bubbles») в экваториальной ионосфере.

Обсуждаются причины формирования выявленных аномалий и влияние гелиогеофизических условий [3] на поле плотности водорода. Предложены показатели возмущенности диагностируемых полей.

Литература:

1. Tertyshnikov A.V. The Beginning of the 25th Cycle of Solar Activity in Variations of the Oxygen Ion Density in the Orbit of the Meteor Spacecraft//Cosmic Res. 63, 276–283 (2025). <https://doi.org/10.1134/S0010952525601380>.
2. Тертышников А.В. Масс-спектрометр космический. Патент № 2726186 по заявке № 2019121111/20(041262) в реестре ФИПС от 05.07.2019.
3. Тертышников А.В. Способ определения начала цикла солнечной активности. Патент. 2023135791, 27.12.2023. Бюл. № 21.

Общее содержание озона и диоксида азота по данным первых месяцев работы прибора Озонометр-ТМ на борту космических аппаратов «Ионосфера-М»

Хоркин В.С.¹, Доброленский Ю.С.¹, Евдокимова Д.Г.¹, Ионов Д.В.², Иванова А.Е.¹, Дзюбан И.А.¹,
Вязоветский Н.А.¹, Коньшев М.Д.¹, Шаталов А.Е.³, Викторов А.И.³, Кораблев О.И.¹

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ООО "НПП "АСТРОН ЭЛЕКТРОНИКА", Орел, Россия

vs_khorkin@mail.ru

Ключевые слова: общее содержание озона, общее содержание диоксида азота, дистанционное зондирование Земли, спутниковый спектрометр, Ионосфера-М

В июле 2025 года в составе комплекса целевой аппаратуры космических аппаратов «Ионосфера-М» №№ 3 и 4 были запущены 2 прибора Озонометр-ТМ [1]. Приборы представляют собой спектрометры УФ-видимого диапазона (300 – 500 нм), измеряющие спектр отраженного от поверхности земли солнечного излучения с разрешением 0.3-0.4 нм. Основной задачей приборов является мониторинг общего содержания озона (ОСО), а также диоксида азота.

В рамках наземных верификационных измерений были получены оценки ОСО, проведено сравнение полученных результатов со спутниковыми данными [2]. В настоящее время приборы завершили лётные испытания и введены в эксплуатацию. В докладе представлены первые полученные результаты, а также подробно описана методика калибровки и обработки поступающих данных [3]. Создана модель, описывающая статус прибора и его параметры, а также алгоритм последующей обработки спектров. В основе модели лежит метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (DOAS – differential optical absorption spectroscopy) с учётом обобщённого атмосферного профиля температуры и зависимости сечения поглощения газа от температуры.

В ходе анализа первых орбитальных данных с приборов Озонометр получены карты распределения озона, которые качественно совпадают с независимыми данными от других экспериментов по глобальному мониторингу озонового слоя (OMI, TROPOMI). Также получены аналогичные карты диоксида азота.

Литература:

1. Dobrolenskiy Y.S. et al. // Applied Optics, 2015, v. 54, № 11, pp. 3315 – 3322.
2. Доброленский Ю.С. и др. // Исследование Земли из космоса, 2017, №5, стр. 82 – 92.
3. Доброленский Ю.С. и др. // Материалы 23-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2025. С. 130. DOI 10.21046/23DZZconf-2025a

О погрешностях восстановления распределения источников NO_2 в тропосфере по спутниковым измерениям

Христова А.С.^{1,2}, Постыляков О.В.¹, Чуличков А.И.^{1,2}, Боровский А.Н.¹

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

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

askhristova@gmail.com

Ключевые слова: источники двуокси азота, инвентаризация выбросов, космические измерения, химико-транспортное моделирование, смещенная линейная оценка, оценка минимальной дисперсии, квадратичное программирование, метод проекции градиента

Оксиды азота (NO_2 и NO) участвуют в различных химических реакциях в тропосфере и оказывают влияние на климат и здоровье человека. NO_2 является важным предшественником антропогенного озона и ключевым агентом в образовании нескольких токсичных веществ. Поэтому имеет значение разработка системы мониторинга содержания тропосферного NO_2 и инвентаризация его источников. В 2016-2017 годах были проведены эксперименты по восстановлению пространственного распределения NO_2 с использованием измерений российских спутников серии «Ресурс-П» [1]. В результате было получено пространственное распределение интегрального содержания тропосферного поля NO_2 с высоким пространственным разрешением. Для исследования тонких структур, обнаруженных в полях NO_2 , были разработаны методы химико-транспортного моделирования поля тропосферных оксидов азота [2], которые использовались для расчёта шлейфов от точечного стационарного источника загрязнения (в основном в форме NO).

В некотором приближении поле распределения NO_2 в пространстве координат хорошо представимо в виде свертки функции распределения источников и шлейфа точечного стационарного источника загрязнения, искаженных шумом. Для определения распределения источников, создающих наблюдаемое 2D поле содержания NO_2 , мы рассмотрели несколько методов решения возникающей обратной задачи [3].

В докладе приводятся результаты восстановления распределения источников NO_2 , получаемые с применением разработанных методов, а также оценка их погрешностей, связанная со случайным шумом измерения.

Работа выполнена за счет средств государственных заданий ИФА им. А.М. Обухова РАН, (регистрационный номер темы 125020501413-6), и МГУ им. А.М. Ломоносова.

Литература:

1. Postylyakov O.V., Borovski A.N., Makarenkov A.A. First experiment on retrieval of tropospheric NO_2 over polluted areas with 2.4-km spatial resolution basing on satellite spectral measurements // Proc. SPIE. 2017. DOI:10.1117/12.2285794

2. О.В. Постыляков, А.С. Христова, А.И. Чуличков, А.Н. Боровский, Ю.С. Мухартова, А.А. Макаренков. Об определении содержания и источников диоксида азота в тропосфере по измерениям КА серии Ресурс-П. Современные проблемы ДЗЗ из космоса, 2026, в печати.

Восстановление вертикальных профилей экстинкции аэрозоля по измерениям MAX-DOAS с использованием нейросетевой архитектуры на основе трансформера

Шамсутдинов Д.Р., Постыляков О.В., Боровский А.Н.

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

a.danil.dark@gmail.com

Ключевые слова: MAX-DOAS, PM10, обратные задачи, глубокое обучение, архитектура Transformer, аэрозоль, дистанционное зондирование, CAMS, атмосферный мониторинг

В работе рассматривается задача восстановления вертикальных профилей экстинкции аэрозоля в нижней тропосфере по данным многоугловых измерений рассеянного солнечного излучения (MAX-DOAS). Традиционные методы решения возникающей обратной задачи [1], основаны на построении линейной оптимальной статистической оценки. Такая оценка являлась бы оптимальной в классе всех оценок, если бы случайное распределение экстинкции аэрозоля контролировалось нормальным распределением. Поскольку экстинкция принимает только положительные значения такое предположение ложно, и, следовательно, существует оценка обладающая меньшей среднеквадратичной ошибкой [2]. Как показано в [2], такая оценка может быть получена с использованием нейронной сети (НС).

В работе исследована НС на основе архитектуры Transformer, способная эффективно обрабатывать разнородные данные: наклонные толщи O_4 для различных углов визирования и контекстную информацию о положении солнца (зенитный и азимутальный углы).

Обучение модели проводилось на синтетическом датасете, сформированном на основе данных реанализа моделей CAMS за 2018–2022 гг. для района Звенигородской научной станции. Для моделирования измерений MAX-DOAS использовалась линеаризованная модель переноса излучения MCC++, а для повышения робастности модели применялась двухэтапная аугментация данных, включающая вариацию временных меток и добавление реалистичного шума, оцененного по натурным измерениям.

Проведенное тестирование на независимых данных за 2023 год показало высокую точность восстановления профилей: коэффициент детерминации $R^2 > 0.93$ для слоя атмосферы до 1 км. Модель продемонстрировала устойчивость к шуму и способность к обобщению. Валидация подхода на натурных экспериментальных данных, полученных в 2011–2019 гг., подтвердила корректность восстановления интегрального аэрозольного ослабления при сравнении с данными AERONET.

Работа выполнена за счет средств государственного задания ИФА им. А.М. Обухова РАН, рег. номер темы 1022041800069-7-1.5.9.

Литература:

1. Frieß U., Beirle S., Alvarado Bonilla L. et al. Intercomparison of MAX-DOAS vertical profile retrieval algorithms: studies using synthetic data // Atmos. Meas. Tech. 2019. V.12. P. 2155–2181, DOI: 10.5194/amt-12-2155-2019.
2. Постыляков О.В., Боровский А.Н., Шамсутдинов Д.Р., Чуличков А.И. О сравнении методов восстановления профиля двуоксида азота в атмосфере по многоугловым спектральным наземным измерениям. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Направлено в печать.

Исследование эволюции состава приземного слоя во время длительных температурных инверсий в районе Санкт-Петербурга

Шпак К.А., Ионов Д.В., Косцов В.С., Небожко Е.Ю., Зайцев Н.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
k.shpak@spbu.ru

Ключевые слова: температурная инверсия, МКВ радиометр, атмосферный состав

Температурные инверсии в пограничном слое атмосферы являются важнейшим фактором, определяющим условия рассеяния атмосферных примесей и формирование загрязнения воздуха. Для изучения эволюции температурных инверсий и состава приземного воздуха критически важны средства измерений с высоким временным разрешением. Основной целью настоящей работы является анализ периодов длительных (>24 часов) и интенсивных (>2°C) инверсий по данным уникальных 11-летних (2013–2023 гг.) непрерывных круглосуточных дистанционных измерений вертикального профиля температуры до высоты 2 км микроволновым радиометром НАТPRO на мониторинговой станции Ресурсного Центра «Геомодель» Научного Парка СПбГУ в 30 км от Санкт-Петербурга. Комплексный анализ включает в себя сопоставление параметров эволюции температурных инверсий с результатами прямых приземных измерений концентрации озона, окислов азота и взвешенных частиц (PM). Изучение длительных событий позволяет в полной мере реализовать главное преимущество используемого комплекса приборов (МКВ-радиометр, газоанализаторы, нефелометр и аэрозольный спектрометр) — возможность непрерывно отслеживать эволюцию структуры инверсии (нижняя граница, мощность, интенсивность) и оценивать ее влияние на атмосферный состав. Это позволяет выявить этапы формирования и разрушения инверсионного слоя, аккумуляции загрязняющих веществ (PM, NOx) и трансформации состава приземного слоя атмосферы. На примере нескольких эпизодов (осенние и зимние периоды) определены связи между параметрами длительных температурных инверсий, полученных методом микроволнового дистанционного зондирования, и комплексом характеристик качества атмосферного воздуха.

Работа выполнена при поддержке НИР СПбГУ № 124032000029-9. Для измерений использовалось оборудование РЦ «Геомодель» Научного парка СПбГУ.

Typhoon tracks as a factor in the transformation of the spring reversal of the South China Sea current system

Vlasova G.A.¹, Le Dinh Mau ², Ponomarev V.I.¹, Pham Sy Hoan ², Rudykh N.I.¹, Marchenko S.S.¹,
Lebedev S.A.³

¹*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russia*

²*Institute of Oceanography, Vietnamese Academy of Science and Technology, Nha Trang, Vietnam*

³*Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*
gavlasova@mail.ru

Key words: the South China Sea, the Vietnamese Coastal Current, East Asian Monsoon, typhoons, hydrodynamic processes

The Vietnamese Coastal Current is the key hydrodynamic feature in the western South China Sea and serves as a primary indicator of the broader hydrodynamic processes within the South China Sea current system. Like other hydrodynamic structures of the South China Sea, it is subject to seasonal spatiotemporal variability. The unique seasonal reversibility of the current (southward flow during the NE monsoon in winter and northward during the SW monsoon in summer) is further influenced by typhoons, which induce instability in hydrodynamic processes and enhance water mixing and eddy formation. Unlike the well-studied stable seasons (summer and winter), the dynamics of the current in transitional periods are poorly understood (spring and autumn). A synthesis of in situ and model data allowed for an analysis of the hydrodynamic restructuring of the current in the spring of 1999 under the influence of regional synoptic conditions. Thus, under typical monsoon conditions, the dynamics remain stable, showing a smooth transition to the summer regime. However, the nature of the current restructuring changes significantly during the passage of tropical cyclones (TCs), depending on their trajectory. When TCs move northward, a partial transition to the summer regime occurs due to the current's remoteness and the influence of the periphery of the TC's left (less active) flank. Conversely, when a TCs move central or southward, the winter regime persists. In the former case, the typhoon's trajectory intersects the current, intensifying cyclonic activity with both its flanks. In the latter, the current falls under the influence of the more powerful right flank of the TCs, which also intensifies cyclonic processes. It was found that typhoons acting in the central South China Sea have the maximum impact on the restructuring of the Vietnamese Current, while typhoons heading toward the northern part of the sea pose the greatest threat to the Russian Far East.

References:

1. Russian-Vietnamese Oceanographic Research in the South China Sea. Editors: Vyacheslav B. Lobanov, Ruslan G. Kulinich, Galina A. Vlasova, Bui Hong Long, Le Dinh Mau. Springer Nature Switzerland AG 2025. 533 p. ISBN 978-3-031-81957-5, ISBN 978-3-031-81958-2 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-3-031-81958-2>;

Лабораторные эксперименты по электрическому воздействию на влажный воздух

Алексеева А.В.¹, Давыдов В.Е.¹, Зинкина М.Д.¹, Иванов В.Н.³, Палей А.А.¹, Писанко Ю.В.^{1,2},
Струнин А.М.⁴, Щелкалин А.В.¹

¹Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия

³Институт экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун», Обнинск, Россия

⁴Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный, Россия

a_paley@mail.ru

Ключевые слова: ионный ветер, электрическое поле, влажный воздух, туман, лабораторный эксперимент

Представлены результаты лабораторных экспериментов по электрическому воздействию на влажный воздух. Эксперименты проводились как в Большой аэрозольной камере НПО «Тайфун», так и на специализированной лабораторной установке, смонтированной в ИПГ. Изучались эффекты, создаваемые во влажном воздухе неоднородным электрическим полем и ионным ветром. Для иллюстрации величины электрических эффектов мы воздействовали неоднородным электрическим полем на поверхность воды, создавая на этой поверхности впадину при подаче достаточно высокого напряжения. Мы продемонстрировали движения тумана, инициируемые неоднородным электрическим полем электрода, на который подано высокое напряжение. Мы исследовали изменения относительной влажности воздуха в зависимости от переносимого ионным ветром электрического заряда и от диаметра струи ионного ветра. Мы наблюдали подъем тумана к потолку Большой аэрозольной камеры (на высоту 18 метров) под действием динамического давления ионного ветра, созданного установкой генерации коронного разряда, смонтированной на полу Большой аэрозольной камеры.

Методология автоматической идентификации, трекинга и типизации мезомасштабных вихревых структур в данных численного моделирования

Гавриков А.В.¹, Кошкина В.С.^{1,2}, Никитенко -Валиахметов М.Р.^{1,3}, Ежова Е.А.^{1,2}, Филончик П.Г.^{1,2},
Кузнецов Г.С.^{1,4}

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

²*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, Россия*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

⁴*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия
gavrikov@ocean.ru*

Ключевые слова: когерентные вихревые структуры, идентификация вихрей, мезомасштабная метеорология, численное моделирование

Вихревые структуры являются фундаментальной формой организации движения в атмосфере и ключевым механизмом переноса импульса, тепла и влаги. В климатических исследованиях изучаются преимущественно крупномасштабные вихри (циклоны), тогда как мезомасштабные рассматриваются главным образом в рамках отдельных кейс-стадий. В результате до сих пор отсутствует статистически обоснованное понимание их вклада в климатические процессы. Основная трудность связана с отсутствием математически строгой постановки понятия «вихрь», что делает их автоматическую идентификацию невозможной, а ручную – трудновыполнимой из-за малого размера (на климатическом масштабе).

В докладе будет показана комплексная методология для автоматического построения климатологии вихрей, основанная на трех ключевых компонентах:

1. Математически корректная идентификация ядра вихря (Rortex-критерий) в трехмерных полях скорости, позволяющая преодолеть ограничения традиционных методов, основанных на пороговых значениях.
2. Полулагранжев метод определения внешней границы, позволяющий выделить замкнутую область, минимально деформирующуюся в окружающем потоке.
3. Алгоритм трекинга вихрей учитывающий положение, поведение фонового потока, случаи временного исчезновения вихря.

Для проверки результатов автоматического трекинга создано ПО, облегчающее ручной трекинг вихрей на небольших периодах по времени. На основе динамических и геометрических характеристик выполнена предварительная типизация обнаруженных структур. На данный момент идет работа с наиболее изученными мезомасштабными структурами: тропические циклоны и полярные мезоциклоны.

Глобальной целью проекта является создание первого открытого Атласа мезомасштабных атмосферных процессов. Этот атлас будет включать базу траекторий, типов вихрей и статистику их изменчивости. Результаты позволят количественно оценить вклад мезомасштабных вихрей в энергообмен, улучшить климатические модели и прогноз опасных явлений, что критически важно во многих регионах.

Совершенствование параметризаций гидрологических процессов в моделях деятельного слоя суши (на примере модели TerM)

Гельфан А.Н.^{1,2}, Медведев А.И.^{2,3}, Степаненко В.М.^{2,3}

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

³Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
hydrowpi@mail.ru

Ключевые слова: модель деятельного слоя суши, гидрологические процессы, речной сток

Современные модели деятельного слоя суши воспроизводят гидрологические характеристики на региональном масштабе, в том числе, интегральный показатель водного режима территорий – речной сток, со значительными погрешностями по сравнению с региональными гидрологическими моделями. В докладе рассмотрены возможности совершенствования моделей деятельного слоя суши на основе достижений в области гидрологического моделирования. Даны примеры реализации некоторых из таких возможностей в модели TerM (составляющей модели Земной системы ИВМ РАН), включая: новые параметризации процессов инфильтрации воды в мерзлую почву и процессов формирования снежного покрова и снеготаяния в лесу, а также развитие методов описания подсеточной изменчивости гидрологических процессов. Показано, что усовершенствованные параметризации позволили уточнить описание процессов формирования речного стока на крупных водосборах севера Европейской России. Обсуждаются ограничения, связанные с различием задач, решаемых гидрологическими моделями и моделями деятельного слоя суши, требованиями к детальности описания отдельных процессов, к исходной информации и ее пространственно-временному разрешению, подходам к заданию параметров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (грант №24-17-00152).

Полвека Лаборатории математической экологии:

биологический круговорот, «ядерная зима», климат мегаполиса

Гинзбург А.С., Логофет Д.О., Александров Г.А., Белова И.Н., Голубятников Л.Л., Докукин С.А.,
Завалишин Н.Н., Казанцев В.С., Помелова М.А., Александров Г.Г., Кривенко Л.А., Фалалеева В.А.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия

gin@ifaran.ru

Ключевые слова: математическая экология, биологический круговорот, наземные экосистемы, «ядерная зима», климат мегаполиса, состав городского воздуха

В 1976 году в Вычислительном центре АН СССР по инициативе академика Н.Н. Моисеева была создана Лаборатория математической экологии (ЛМЭ) под руководством Ю.М. Свирежева. В начале 90-х годов XX века по решению академиков А.А. Дородницына и Г.С. Голицына лаборатория вошла в состав Института физики атмосферы.

В ЛМЭ получены общие уравнения динамики эволюционирующих популяций, разработана теория устойчивости биологических сообществ, создан новый тип марковских моделей для описания и прогноза изменений растительного покрова под воздействием изменений климата, разработана модель для оценки потока углерода в естественных наземных экосистемах, выполнены работы по построению и калибровке математических моделей биологического круговорота, построена нелинейная модель совместного круговорота органического вещества и азота в болотной экосистеме. В 80-е годы XX века сотрудники ЛМЭ ВЦ АН СССР вместе с сотрудниками Института физики атмосферы выполнили пионерские работы по оценке возможных долговременных климатических и экологических последствий крупномасштабного ядерного конфликта – «ядерной зимы».

В первую четверть XXI века в ЛМЭ ИФА им. А.М. Обухова РАН наряду с традиционными исследованиями взаимодействия наземных экосистем и климатических процессов выполнили работы по исследованию климата мегаполиса, роли антропогенных потоков тепла в формировании городского острова тепла, статистических моделей газового и аэрозольного загрязнения городского воздуха, изменчивости содержания кислорода и метана в городской атмосфере, континентальности климата, воздействия волн тепла на устойчивость городских энергосистем, критериев превентивной адаптации к изменению климата, воздействия снижения экономической активности во время пандемии COVID-19 на качество воздуха в мегаполисах, трендов периода термического комфорта в условиях глобального потепления.

В докладе кратко описаны основные научные достижения сотрудников Лаборатории математической экологии за первые полвека ее существования.

Оценка количества метана, транспортируемого всплывающими пузырьками из донных отложений в водную толщу и приводный слой атмосферы на мелководном полигоне в заливе Буор-Хая моря Лаптевых

Доманиук А.В.^{1,2}, Ананьев Р.А.³, Спивак Э.А.^{1,2}, Шахова Н.Е.², Саломатин А.С.¹, Ковика Д.Д.¹, Кучеров В.А.¹, Дударев О.В.^{1,2}, Семилетов И.П.^{1,2}, Черных Д.В.^{1,2,3}

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

³Институт океанологии им. П.П. Ширикова РАН, Москва, Россия

⁴Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия

domaniuk.av@poi.dvo.ru

Ключевые слова: Буор-Хая, море Лаптевых, Восточно-Сибирский шельф, сип, метан, оценка количества метана, взаимодействие метана с атмосферой

Участки водной толщи, в которую из донных отложений непрерывно поступают пузырьки, зарегистрированы во всех Земных океанах, называются сипами. Прямые измерения состава газовой смеси, переносимой пузырьками, показали, что в ней преобладает один из основных парниковых газов – метан. Значительный интерес представляют мелководные сипы, обнаруженные на территории Восточно-Сибирского шельфа в море Лаптевых. Установлено, что данные сипы приурочены к участкам морского дна, на которых подводная мерзлота утратила свою монолитность [1].

Непрерывные измерения атмосферной концентрации метана, проводимые с 1983 года, иллюстрируют наличие планетарного максимума в северном полушарии Земли. При этом данная величина ежегодно увеличивает свое значение, что может подразумевать региональные источники, одним из которых являются мелководные сипы. Прогноз динамики изменения атмосферной концентрации метана, для Северного полушария предсказывает непрерывное ежегодное увеличение величины его максимума с возможностью крупномасштабных одновременных выбросов. При этом, из-за слабой изученности региона, зарегистрировать данные события получится не ранее чем через 10 лет, а вызванный ими эффект приведет к необратимым экологическим, природным, техногенным и социальным катастрофам [2].

В 2018 г. в комплексной океанографической экспедиции НИС Академик Мстислав Келдыш, в мелководной части моря Лаптевых, в заливе Буор-Хая на глубинах от 20 до 25 метров, авторским коллективом было зарегистрировано более 100 ранее неизвестных сипов. Данные области были подтверждены дважды в 2019 и 2020 гг. В работе представлены первые результаты гидроакустических исследований данных мелководных сипов. Определена их пространственная изменчивость и получена оценка количества метана, транспортируемого данными областями из донных отложений в воду и в приводный слой атмосферы.

Работа выполнена в рамках проектов: №124022100074-9, №124022100083-1, №FEFF-2024-0004 и Приоритет-2030 ТГУ.

Литература:

1. Suess E. Marine Cold Seeps: Background and Recent Advances // Hydrocarbons, Oils and Lipids: Diversity, Origin, Chemistry and Fate / Wilkes H. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – С. 747-767.
2. Wittig S. et al. Surface networks in the Arctic may miss a future methane bomb. Atmospheric Chemistry and Physics. 24. 6359-6373.

Использование сверхдолгосрочных прогнозов модели Земной системы ИВМ РАН для специализированного обслуживания секторов экономики

Емелина С.В.^{1,2}, Хан В.М.^{1,2}

¹Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия

²Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия

tkachukzn@gmail.com

Ключевые слова: сверхдолгосрочный прогноз, модель Земной системы, показатели засухливости, адаптация к изменениям климата

В связи с растущей необходимостью адаптации к наблюдаемым изменениям климата [1] все более актуальными становятся специализированные прогнозы для различных секторов экономики на масштабах от года до десятилетия [2]. Данная работа посвящена оценке изменений характеристик температурного и влажностного режимов на территории Северной Евразии на временном интервале 1-5 лет по декадным прогнозам модели Земной системы ИВМ РАН. В докладе приведены оценки успешности прогнозов осадков и температуры воздуха с использованием стандартных критериев качества для долгосрочных прогнозов по историческим прогнозам модели Земной системы и по оперативным прогнозам на год и пятилетие за период с 2022 по 2025 гг. В докладе также обсуждаются подходы к оценке засухливых условий и условий биометеорологического комфорта. Дается оценка повторяемости атмосферных засух в земледельческих районах Северной Евразии в 1991-2020 гг. Анализируются последствия возможного изменения характеристик засухливости и биометеорологического комфорта. Выявлены наиболее уязвимые регионы, в которых эти изменения будут особенно ощутимыми. Полученные оценки возможных последствий могут полезны при разработке оптимальных решений для развития экономики в условиях изменяющегося климата на ближайшее десятилетие. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда проект РНФ № 22-17-00247П в ИВМ РАН.

Литература:

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Научное издание, 2022. – 124 с.
2. Solaraju-Murali B., Caron L.-P., Gonzalez-Reviriego N., Doblas-Reyes F. Multi-year prediction of European summer drought conditions for the agricultural sector. - Environmental Research Letters, 2019, vol. 14. 10.1088/1748-9326/ab5043.

Лечебные свойства климата и ландшафтно-рекреационный потенциал городов курортов Кавказских Минеральных Вод

Ефименко Н.В., Корягина Ю.В., Нопин С.В., Нопина В.С., Тычинина А.П.

Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Ессентуки, Россия

nauka@skfmba.ru

Ключевые слова: лечебный климат, биоклиматический потенциал, курорт, температура воздуха, состав воздуха

С целью изучения лечебных свойств климата и ландшафтно-рекреационного потенциала городов курортов Кавказских Минеральных Вод (КМВ) определялись следующие микроклиматические параметры: температура, влажность, давление воздуха, уровень радиационного загрязнения гамма-излучения, содержание аэрозольных частиц, кислород и углекислый газ в атмосферном воздухе, концентрация легких аэроионов. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии резкой изменчивости гигротермических показателей на территориях городов-курортов КМВ, климат – умеренно континентальный. Кисловодск является самым южным бальнеологическим и горноклиматическим курортом. Абсолютные высоты в пределах города изменяются в диапазоне 750-1060 м. Количество часов солнечного сияния – 2147 часов в год. Среднегодовая температура – 7,9 °С. Комплексная оценка биоклиматического потенциала (БКП) составила 2,56 балла, что оценивается как очень высокая. Ессентуки лежат на равнинной возвышенности, на высоте 600-700 м, среднегодовая температура – 11,4 °С. Продолжительность солнечного сияния – 1804 часа в год. Комплексная оценка БКП составила 2,15 балла (высокая). Курорт Пятигорск, расположен практически в центре предгорной части Северного Кавказа, средняя высота около 510 метров над уровнем моря, среднегодовая температура – 8,6 °С. Продолжительность солнечного сияния 1756 часов. Комплексная оценка БКП составила 2,03 балла (высокая). Среднегодовая температура в Железноводска составляет 8,5 °С, продолжительность солнечного сияния 1740 часов. Комплексная оценка БКП составила 1,97 балла (высокая). Особенности климата КМВ выступают в качестве оптимизирующих факторов, обеспечивающих благоприятные условия для организации различных форм климатолечения, направленных на повышение функциональных резервов организма человека. Ландшафтно-климатические ресурсы и воздействие природных лечебных факторов, в механизме которых преобладает поливалентность, создают предпосылки для разработки программ восстановительной и спортивной медицины [1-2].

Литература:

1. Тер-Акопов Г.Н., Корягина Ю.В., Ефименко Н.В., Нопин С.В. и др. Комплексное восстановление спортсменов с помощью природных лечебных ресурсов Кавказских Минеральных Вод и преформированных лечебных физических факторов. Ессентуки, 2025. 159 с.
2. Корягина Ю.В., Тычинина А.П., Нопин С.В., Нопина В.С. Сравнительная оценка ландшафтно-рекреационного потенциала и лечебного климата КМВ. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2025. Т. 102. № 3-2. С. 100-101.

Численное моделирование переноса поляризованного микроволнового радиоизлучения в дождевых осадках

Копцов Я.В., Илюшин Я.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

ilyushin@physics.msu.ru

Ключевые слова: атмосфера, осадки, дождь, перенос излучения, радиометрия, свч

В работе исследованы поляризационные свойства теплового радиоизлучения атмосферы в микроволновом диапазоне, вызванного дождевыми осадками. Рассмотрены возможности использования поляризации наблюдаемого излучения для повышения эффективности дистанционного мониторинга осадков. Рассмотрена модель плоского однородного слоя дождевой атмосферы с учетом несферической формы падающих дождевых капель (модель Прупахера-Питера) с реальным распределением по размерам (распределение Маршалла-Пальмера). В работе решается соответствующая краевая задача для векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ). Анализируются причины появления ненулевого третьего параметра Стокса U в восходящем тепловом радиоизлучении.

Рассматривается зависимость поляризации излучения от длины волны и интенсивности осадков. Показано, что третий параметр Стокса U может служить индикатором наклона капель дождя и предоставлять дополнительную информацию для определения зон осадков над сушей и над океаном.

Моделирование переноса микроволнового излучения в плоскостростой дождевой атмосфере проводится прямым численным решением уравнения переноса поляризованного излучения. В данной работе проведены и сравниваются между собой расчеты конечно разностным методом (схема со встречными разностями) и методом последовательных кратностей рассеяния [1]. В докладе приведены результаты соответствующих численных расчётов. Обсуждаются потенциальные применения в спутниковой радиометрии и наземном дистанционном зондировании, а также требования к инструментальным средствам наблюдений для выделения поляризационных сигналов, связанных с формой капель. В заключении подчёркнуто, что поляризационные эффекты дождевой атмосферы в микроволновом диапазоне могут служить дополнительным источником информации при дистанционном радиометрическом картировании дождевых осадков.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова [2].

Литература:

1. Копцов Я. В., Илюшин Я. А., Кутуза Б. Г. // Ученые записки физического факультета Московского Университета. 2024. - № 4. - С. 2441206.

[2] Voevodin V.I., Antonov A., Nikitenko D., Shvets P., Sobolev S., Sidorov I., Stefanov K., Voevodin V.I. and Zhumatiy S. // Supercomputing Frontiers and Innovations. 2019. T.6. №.2. C.4-11.

Численное моделирование радиояркостной температуры разорванной кучевой облачности при радиометрии тропосферных облаков с орбитальных космических аппаратов

Копцов Я.В.¹, Илюшин Я.А.^{1,2}

¹Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия
koptcov.iv17@physics.msu.ru

Ключевые слова: миллиметровые волны, радиометрия, радиозондирование, атмосфера

СВЧ-радиометрический метод с искусственных спутников Земли позволяет по яркостной температуре излучения атмосферы оценить ключевые интегральные параметры облачности – полную массу водяного пара и водозапас облаков [1]. Цель состоит в том, чтобы проанализировать применимость моделей для коррекции облачности при микроволновом радиозондировании теплового излучения. Результатом работы является определение параметров, которые наилучшим образом соответствуют облачным полям земной атмосферы. В работе реализована планковская модель для генерации случайных разорванных полей кучевых облаков в трехмерной расчетной области [2]. Проведен численный эксперимент по расчету распределений яркостной температуры уходящего излучения системы поверхность – атмосфера на частотах 22. 2, 27.2, 37.5 и 90.8 ГГц при наличии разрывов облачности. В результате разработанные алгоритмы и компьютерные модели облачных полей значительно улучшили практическую основу для дальнейших исследований радиационных процессов в облачной атмосфере. Проведен анализ систематических ошибок восстановления интегрального водозаписа, возникающих из-за неучета разрывной структуры облачного поля. Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

Литература:

1. Кутуза Б.Г., Данилычев М.В., Яковлев О.И. Спутниковый мониторинг Земли: Микроволновая радиометрия атмосферы и поверхности. М.: ЛЕНАНД, 2016. 462 с.
2. Plank V.G. The size distribution of cumulus clouds in representative Florida populations //J. Appl. Met. 1969. Vol. 8, No. 1. P. 46–67.

Оценка радиуса Фрида с использованием различных профилей Sn_2 в различных астрономических пунктах

Копылов Е.А.¹, Одинцов С.Л.², Невзорова И.В.², Потанин С.А.¹, Сачков М.Е.¹

¹Институт астрономии РАН, Москва, Россия

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

msachkov@inasan.ru

Ключевые слова: радиус Фрида, турбулентность, астроклимат

В работе приведены результаты оценок радиуса Фрида (радиуса когерентности оптической волны в атмосфере) как ключевого параметра астроклимата. Сравниваются результаты оценок, полученные с применением двух моделей высотных профилей атмосферы – полуэмпирической модели Хафнагеля – Волли и феноменологической модели высотного профиля Sn_2 , описанной А.С. Гурвичем. Оценки сделаны для различающихся типов подстилающей поверхности: горный рельеф обсерватории Терскол (Кавказ) и высокогорное плато у села Ташанта (Алтай). Так же проведено сравнение с результатами восстановления высотного профиля оптической турбулентности по наблюдениям звезд в пункте Терскол.

Сравнение структурной характеристики Cn_2 в приземном слое атмосферы в различных астрономических пунктах

Копылов Е.А.¹, Одинцов С.Л.², Невзорова И.В.², Сачков М.Е.¹

¹*Институт астрономии РАН, Москва, Россия*

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

kopylov@inasan.ru

Ключевые слова: турбулентность, астроклимат

В работе представлены результаты анализа структурной характеристики Cn_2 в приземном слое атмосферы на различных пунктах наблюдения и типом подстилающей поверхности - это горная обсерватория Пик Терскол (3127м) и высокогорное плато у села Ташанта(2100м). Данные, полученные с использованием ультразвуковых станций, позволяют оценить параметры астроклимата. На основе полученных данных были построены графики, иллюстрирующие поведение структурной характеристики Cn_2 и ее влияние на параметры астроклимата, такие как радиус когерентности. Особое внимание уделено метеорологической ситуации в периоды наблюдения, когда наблюдаются типичные условия наблюдений для обсерваторий. Также были рассмотрены данные по наклонам спектров температуры в интервале частот, который соответствует инерционному диапазону Колмогоровкой турбулентности. Вычисленные наклоны спектров показали, что данные по температурной турбулентности в разных регионах имеют значительные отличия, что необходимо учитывать при использовании стандартных моделей для оценки астроклиматических параметров. Обсуждаются вопросы применения модели Хафнагеля-Волли для оценки параметров астроклимата.

Влияние основных метеорологических параметров на изменчивость концентраций аэрозольных частиц различных размерных диапазонов в приземном слое атмосферы курорта Ессентуки

Корягина Ю.В., Нопин С.В., Ефименко Н.В., Караваева А.С.

Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, Ессентуки, Россия

nauka@skfmba.ru

Ключевые слова: лечебный климат, аэрозольные частицы, температура воздуха, относительная влажность воздуха, микроклимат

Качество атмосферного воздуха курортных территорий является критически важным условием климатотерапии и рекреации. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки и изменчивости климата задача оценки и прогноза состояния приземного слоя атмосферы становится одной из приоритетных [1 - 3]. Целью работы является исследование влияния основных метеорологических параметров (температуры воздуха и относительной влажности) на изменчивость концентраций аэрозольных частиц. Исследование проводилось на основе данных мониторинга, полученных в курортной зоне г. Ессентуки в весенний период (апрель-май) 2024 года. Использованы данные измерений параметров воздуха: температура (°C), относительная влажность (%); концентрации взвешенных частиц: PM1.0 – ультрадисперсные частицы с диаметром до 1,0 мкг/м³; PM2.5 – мелкодисперсные частицы до 2,5 мкг/м³; PM10 – грубодисперсные частицы до 10 микрон мкг/м³. Для измерения концентраций взвешенных частиц применялся дифференциальный счетчик аэрозолей САЧМ 4801-01. Метеорологические параметры регистрировались с помощью автоматической метеостанции Davis Vantage PRO2. В результате проведенного исследования были установлены статистически значимые сильные обратные связи концентраций ультрадисперсных (PM1.0) и мелкодисперсных (PM2.5) частиц с температурой ($r = -0.90$ и $r = -0.82$ соответственно) и прямые связи с относительной влажностью ($r = +0.91$ и $r = +0.83$) воздуха. Для грубодисперсной фракции PM10 значимой зависимости от исследуемых параметров не выявлено. Выделен характерный суточный ход концентраций PM1.0 и PM2.5 с минимумом в дневные часы (12:00–16:00) и максимумом в утренние (6:00–9:00) и вечерние (20:00–23:00) периоды, обусловленный совместным влиянием суточной динамики метеозадающих элементов. Полученные количественные зависимости важны для понимания процессов рассеивания и накопления примесей в условиях предгорной местности и могут быть использованы для оптимизации режимов климатотерапевтических процедур на открытом воздухе в курортной зоне.

Литература:

1. Кондратьев К.Я., Куценогий К.П., Гилли Д.А. Аэрозоль и климат. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 540 с.
2. Корягина Ю.В., Донец Е.В., Ефименко Н.В. [и др.] Анализ климатического (по данным наблюдений за 1993–2023 гг.) и микроклиматического оздоровительного потенциала города-курорта Кисловодск // Метеорология и гидрология. – 2024. – № 2. – С. 131–138.
3. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. – Hoboken: Wiley, 2016. – 1152 p.

Снижение уровня Каспийского моря и региональные изменения климата

Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Шеремет Н.А.
Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия
kostianoy@gmail.com

Ключевые слова: Каспийское море, Кара-Богаз-Гол, уровень моря, региональное изменение климата

В докладе рассматриваются сезонные и межгодовые изменения уровня Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол (КБГ) с сентября 1992 года по май 2025 года с использованием данных спутниковой альтиметрии, а также ряда гидрометеорологических параметров (температура поверхности воздуха и воды, атмосферные осадки, скорость ветра и сток Волги) в 2000–2024 годах. Снижение уровня Каспийского моря в разные периоды составило: -8,90 см/год в 1995–2024 годах, -8,16 см/год в 2005–2019 годах и -22,7 см/год в 2020–2024 годах. Аналогичное изменение динамики уровня наблюдалось и в заливе КБГ: -12,3 см/год в 1996–2024, -12,2 см/год в 2005–2019 и -37,3 см/год в 2020–2024 годах. Таким образом, последние 5 лет (2020–2024 гг.) оказались годами с самым высоким темпом снижения как уровня моря, так и уровня залива КБГ за 30-летний период (1995–2024 гг.). К концу 2024 года уровни Каспийского моря и залива снизились до отметок -29,34 м и -31,1 м в Балтийской системе высот (БС) соответственно. При этом уровень Каспийского моря превысил минимум 1977 года (-29,0 м в БС). Обсуждаются возможные причины этого ускоренного снижения уровня воды в Каспийском море и заливе КБГ. Получены оценки испарения с поверхности Каспийского моря и залива КБГ в 2023 году, для которых был известен сток Каспийского моря в залив (8,77 км³). Для Каспийского моря она составила приблизительно 442 км³ (125 см слоя воды), а для залива КБГ — 19,5 км³ (114 см слоя воды). С учетом морфометрических параметров пролива КБГ, обнажение его дна и отделение залива КБГ от моря произойдет при отметке уровне моря -30,5 м. В этом случае приток каспийских вод в залив полностью прекратится. Это может произойти примерно через 5 лет.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-77-00027 «Исследование климатической изменчивости термогидродинамического режима Каспийского моря по данным дистанционного зондирования».

Геоинформационный анализ региональных климатических изменений в российской Арктике для поддержки развития транспортной инфраструктуры

Красноперов Р.И.¹, Гвишиани А.Д.^{1,2}, Костяной А.Г.^{1,3}, Шевалдышева О.О.¹, Гвоздик С.А.¹, Лебедев С.А.¹

¹*Геофизический центр РАН, Москва, Россия*

²*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия*

³*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия*

r.krasnoperov@gcras.ru

Ключевые слова: Арктическая Зона Российской Федерации, изменения климата, гидрометеорологические параметры, ГИС, геоинформационный анализ, электронный атлас, развитие транспорта

Наблюдаемые климатические изменения могут оказывать негативное воздействие на инфраструктуру наземного транспорта, включая автомобильные и железные дороги, мосты, портовые сооружения, взлетно-посадочные полосы и другие объекты. Эта проблема особенно актуальна для Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), переживающей период активного экономического развития. Несмотря на расширение технологической инфраструктуры, регион остается крайне уязвимым к последствиям климатических изменений климата. Комплексная оценка этих экологических рисков необходима для обеспечения устойчивого роста региона. В настоящем докладе представлены результаты анализа пространственно-временной изменчивости различных гидрометеорологических параметров в регионе западного сектора российской Арктики, в рамках которого создана серия цифровых атласов климатических изменений [1, 2, 3, 4]. Ретроспективная часть атласов охватывает период с 1950 года, прогнозная часть – до 2064 года. Серия атласов, включающая в себя более 1000 цифровых карт и более 150 пространственно-временных диаграмм Хофмюллера, позволяет проводить комплексный анализ влияния долговременных климатических изменений на развитие транспортной инфраструктуры региона, включая проектируемый Северный широтный ход.

Литература:

1. Gvishiani A.D. et al. Electronic atlas ...// App. Sci. – 2023. – No. 9. – DOI: 10.3390/app13095278
2. Gvishiani A.D. et al. Study of the impact of climatic changes...// Russ. J. Earth. Sci. – 2023. – No. 5. – DOI: 10.2205/2023ES000882
3. Kostianoy A.G. et al. Geoinformation analysis ...// Russ. J. Earth. Sci. – 2025. – No. 1. – DOI: 10.2205/2025es000956
4. Kostianoy A.G. et al. Projection of regional climate change...// Geogr. Environ. Sustain. – 2025. – No. 4. – DOI: 10.24057/2071-9388-2025-4179

Численное моделирование атмосферного обледенения на воздушных линиях электропередачи

Леонов И.И.¹, Черешнюк С.В.¹, Крылов А.А.¹, Комаров Д.М.^{1,2}

¹АО «Россети Научно-технический центр», Москва, Россия

²Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

leonov_ii@ntc-power.ru

Ключевые слова: энергосистема, воздушные линии электропередачи, климатические нагрузки, опасные явления погоды, обледенение, гололед, замерзающие осадки, мокрый снег, изморозь, численное моделирование, прогноз погоды, WRF-ARW

Опасные явления погоды, связанные с атмосферным обледенением, оказывают значительное воздействие на состояние воздушных линий электропередачи. В результате этих воздействий нередко возникают обрывы проводов и повреждения опор, что приводит к перебоям в электроснабжении потребителей. К числу опасных для энергетики явлений относятся гололед, зернистая изморозь, а также отложения мокрого снега. Каждый тип обледенения имеет характерные физические свойства и различные условия формирования. Целью исследования было создание методики воспроизведения и прогнозирования атмосферного обледенения на объектах электроэнергетики – в первую очередь на воздушных линиях электропередачи.

Численные эксперименты по исследованию атмосферного обледенения выполнялись на базе мезомасштабной модели WRF-ARW с иерархией вложенных расчетных областей, обеспечивающих пространственное разрешение до 1 км. Для разных видов ледяных отложений применялись специализированные методики, учитывающие физику формирования обледенения. Гололед и мокрый снег воспроизводились методом анализа фазового состава гидрометеоров на нижнем сигма-уровне и термической стратификации тропосферы. Для воспроизведения случаев зернистой изморози применялось моделирование плотности потока переохлажденных капель тумана. Совокупное воздействие отложений гололеда, изморози и мокрого снега пересчитывалось в эквивалентную толщину стенки гололеда. Полученные значения гололедных нагрузок уточнялись с учетом конструктивных особенностей воздушных линий, таких, как высота опор, длина пролетов и диаметр проводов.

Полученные результаты продемонстрировали, что совместное применение ГИС-технологий и численного моделирования атмосферных процессов позволяет оценить опасность атмосферного обледенения индивидуально для каждого объекта энергосистемы с учетом его конструктивных особенностей и географических условий окружающей территории. Это позволяет развивать методы прогнозирования возникновения технологических нарушений в энергосистеме.

О концепции волнового механизма метеотропности вследствие вариаций атмосферного давления

Макоско А.А.^{1,2}

¹РАН

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

aamacosco@mail.ru

Ключевые слова: метеотропность, атмосферное давление, волны, резонанс

Симптомокомплекс вегетативной дистонии, выраженный в болезненной реакции организма на изменения погоды, называют метеотропностью. Изменения атмосферного давления оказывают наиболее неопределенное влияние на метеозависимых лиц, на их сердечно-сосудистую систему (ССС). Оно осуществляется помимо прямого воздействия, определяемого законами физики, волновым механизмом – взаимодействием волн, производимых с одной стороны организмом, а с другой – генерируемых атмосферными процессами.

Тело человека является источником физических полей. Кишечник, сердце, мозг и т.д. генерируют волны со спектром частот 10^{-2} - 10^3 Гц. Этому диапазону волн соответствуют микроклиматические и мезометеорологические волны с периодами от долей секунды до нескольких минут.

При резонансном взаимодействии атмосферные волны могут влиять на биологические частоты человека (резонансные частоты сердца – 1 Гц, печени – 6-10 Гц, мозга – 0,5-20 Гц), изменение которых обусловит негативное воздействие на соответствующий орган в ослабленном организме.

Эти соображения составляют феноменологическую концепцию волнового механизма метеотропности. Концепция открывает перспективы по управлению здоровьем метеозависимых людей.

На основе прогноза приземного давления на несколько суток (Гидрометцентр) с помощью быстрого преобразования Фурье легко получить прогнозный спектр атмосферных волн и затем выделить его участки с большой энергией.

Уже имеется ряд исследовательских моделей СССР. Настройку такой модели для конкретного организма можно осуществить по данным анализов и затем получить его волновой спектр.

Методами волновой физики осуществляется поиск резонанса (биений), моделируется воздействие атмосферных колебаний на спектр организма и с помощью модели СССР – на соответствующий орган. Результат влияния получается за несколько суток до события, что дает резерв времени для профилактики метеотропности.

Рассмотренная структура может быть принята за основу персонализированного медицинского подхода в проблеме метеотропности.

Оценка точности измерения содержания парниковых газов в атмосфере Земли орбитальным спектрометром высокого разрешения «Дриада»

Назарова А.В., Федорова А.А., Жарикова М.С., Трохимовский А.Ю., Патракеев А.С., Кораблев О.И.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

Acya-cop@yandex.ru

Ключевые слова: атмосфера, спектрометр высокого разрешения, парниковые газы, спектроскопия

Спектрометр высокого разрешения «Дриада», планирующийся для установки на Международной Космической станции (МКС), предназначен для глобальных измерений парниковых газов, CO_2 и CH_4 , в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне от 1,4 до 1,65 мкм. Регистрация поглощения CO_2 будет производиться в полосах 1,58 и 1,6 мкм, а CH_4 — в полосе 1,64 мкм, что соответствует спектральному диапазону ряда признанных космических экспериментов для мониторинга концентраций парниковых газов, GOSAT (англ. Greenhouse Gases Observing Satellite), OCO-2 (англ. Orbiting Carbon Observatory 2) и др. Для оценки потоков парниковых газов требуется высокая точность их измерения. Работа посвящена оценке точности измерений содержания парниковых газов основным каналом спектрометра «Дриада» с учетом основных характеристик прибора по разрешению, шуму и рабочему спектральному диапазону. Для расчетов спектров отражения создана модель переноса излучения на базе полинейного расчета в ближнем ИК диапазоне. Для исследования чувствительности на масштабе земного шара и в течение года были подготовлены 1200 атмосферных профилей, сформированных на базе глобальных прогнозов химического состава атмосферы CAMS (Copernicus Atmospheric Monitoring Service) центра ECMWF (The European Centre for Medium-range Weather Forecast). Ключевую роль в расчетах чувствительности в ближнем ИК диапазоне играет яркость отраженного от поверхности излучения, которая определяется как солнечным зенитным углом в точке наблюдения, так и альбедо поверхности Земли. Мы адаптировали в модель набор данных карт альбедо с высоким пространственным и временным разрешением HAMSTER (Hyperspectral Albedo Maps dataset with high Spatial and Temporal Resolution). Расчет чувствительности проводился путем решения обратной задачи. В работе представлена оценка точности измерений при одновременном восстановлении концентрации парниковых газов, водяного пара, альбедо поверхности и других характеристик.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 25-27-00338

Литература:

1. Кораблев О. И. и др. Прибор "РУСАЛКА" для измерения содержания углекислого газа и метана в атмосфере с борта Международной космической станции //Оптический журнал. – 2011. – Т. 78. – №. 5. – С. 44-58.
2. Трохимовский А. Ю. и др. Инфракрасный канал научной аппаратуры «Дриада» для измерения содержания парниковых газов из космоса //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. – №. 6.

Физическая типизация когерентных вихревых структур атмосферы по данным высокоразрешающего моделирования:

выявление полярных мезоциклонов

Никитенко-Валиахметов М.Р.², Кошкина В.С.^{1,3}, Гавриков А.В.¹, Ежова Е.А.^{1,3}

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

²*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

³*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),*

Долгопрудный, Россия

shagur-matveyy@mail.ru

Ключевые слова: полярные мезоциклоны, когерентные структуры, WRF, кластеризация

Полярные мезоциклоны (ПМЦ) — экстремальные короткоживущие мезомасштабные вихри, играющие важную роль в энерго- и влагообмене Арктики и в формировании опасных погодных явлений. Трудность их изучения и прогнозирования заключается в малых размерах и коротком времени жизни, поэтому ключевыми инструментами исследования остаются в основном ручная разметка спутниковых данных [1]. Цель работы — идентификация вихрей в данных высокоразрешающего численного моделирования в регионе российской Арктики и разработка схемы типизации вихрей для выявления ПМЦ.

В работе использованы данные численной модели WRF с шагом 6 км для региона Северного морского пути за период 2015-2026 гг. В докладе будут представлены результаты для региона Карского и Баренцева морей за 2019 г. Этот регион — ключевая область формирования ПМЦ в Арктике.

Для идентификации вихрей применён критерий когерентных структур Rortex [2]. Он и ряд вспомогательных характеристик атмосферы использовались для ручного трекинга и определения размеров вихрей. В результате было идентифицировано около 3000 вихревых траекторий, прошедших валидацию по существующим каталогам ПМЦ. Для каждого вихря рассчитан набор параметров, включающий классические предикторы ПМЦ [1] и дополнительные физические характеристики (всего более 25). При типизации для полученного многомерного пространства характеристик использовался метод кластеризации K-means. В результате выделены статистически обособленные группы вихрей, различающиеся сочетанием физических характеристик и предполагаемыми механизмами развития. Отметим, что 2 группы, предположительно соответствующие характеристикам ПМЦ, значительно отличались по баротропно-бароклинному механизму развития.

Используя полученную базу данных, в дальнейшем планируется провести валидацию алгоритма автоматического трекинга вихрей. Это позволит масштабировать результат на весь период моделирования. Данный метод типизации будет использоваться при выявлении других типов мезомасштабных вихрей.

Литература:

1. Moreno-Ibáñez M., Laprise R., Gachon P. Recent advances in polar low research: Current knowledge, challenges and future perspectives //Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography. – 2021. – Т. 73. – №.1. – С. 1-31.
2. Liu C. et al. Rortex—A new vortex vector definition and vorticity tensor and vector decompositions //Physics of Fluids. – 2018. – Т. 30. – №.3

Измерение турбулентных характеристик акустическим анемометром АМК-04 и сравнение с результатами вихреразрешающего моделирования

Пашкин А.Д.¹, Мортиков Е.В.², Репина И.А.¹, Тельминов А.Е.³, Гладских Д.С.², Богомолов В.Ю.³, Смирнов С.В.³

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

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва, Россия*

³*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия*
artemp@ifaran.ru

Ключевые слова: турбулентность, акустический термоанемометр, АМК-04, вихреразрешающее моделирование

Акустический термоанемометр АМК-04 разрабатывается и производится в г. Томске на предприятии ООО "Сибаналитприбор" совместно с научными сотрудниками Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН). Данный анемометр является следующей моделью после АМК-03, которая за 10 лет работы показала надёжность и ремонтпригодность. Важно, что ремонт производится в России.

В ИФА РАН испытания и измерения АМК-04 проводятся с 2021 г. в морских рейсах и на научных станциях, в том числе на Высокогорной научной станции (г. Кисловодск).

Измерения, которые используются для сравнения с данными моделирования, осуществляются на площадке Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН. В эксперименте рассматривается структура турбулентности внутри и над городской застройкой с использованием семи АМК-03.

Моделирование турбулентности осуществляется с помощью вихреразрешающей модели, разрабатываемой в НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова.

Измерения и моделирование проведены при поддержке РНФ 25-77-20011. Анализ данных измерений выполнен при поддержке темы государственного задания ИФА им. А.М. Обухова РАН (Диагноз и моделирование процессов взаимодействия пограничных слоев атмосферы и гидросферы, 125020501524-9).

Упрощенная параметризация турбулентного теплообмена ледника с атмосферой в сезон абляции

Прохорова У.В., Терехов А.В.

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
uvprokhorova@aan.ru

Ключевые слова: Арктика, Шпицберген, тепловой баланс, турбулентные потоки

В работе представлены упрощенные полумпирические формулы для расчета турбулентного теплообмена между поверхностью ледника и атмосферой в сезон абляции. Исследование основано на результатах сопоставления аэродинамического метода (Bulk method) и метода турбулентных пульсаций (Eddy Covariance), выполненном на леднике Альдегонда (Шпицберген) в период с 13 августа по 3 сентября 2022 г.

Сравнение потоков явного тепла, рассчитанных двумя методами, показало высокую степень согласованности результатов: различие средних значений за 21 сутки наблюдений составило всего 2 Вт·м⁻². Значительных систематических смещений выявлено не было. Неопределенность аэродинамического метода не зависела от величины и направления скорости ветра, а также от значения самого потока. Это свидетельствует о корректности применения аэродинамического метода при использовании параметров шероховатости, полученных из прямых измерений.

На основе аэродинамических уравнений получены упрощенные соотношения, применимые для тающей поверхности ледника, температура которой принимается постоянной и равной 0 °С. Эти формулы позволяют оценить величину турбулентного теплообмена тающей поверхности ледника с атмосферой на основе двух предикторов: скорости ветра и температуры воздуха.

Предложенные регрессионные зависимости корректно воспроизводят расчеты аэродинамического метода в диапазоне условий, характерных для сезона абляции.

Информационная система мониторинга углеродного баланса экосистем - основа природно-климатических решений в Арктической зоне РФ

Слободян В.Ю.^{1,3}, Дудов С.В.², Прядилина А.В.³

¹*Институт экологического проектирования и изысканий, Москва, Россия*

²*Биологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

³*Географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

slobodyanv@mail.ru

Ключевые слова: углеродный баланс, арктика, восстановление экосистем, биоразнообразие, климатические изменения, природно-климатические решения

Арктические экосистемы чувствительны к глобальному изменению климата и способны оказывать на него встречное влияние. Важнейшим инструментом минимизации последствий такого влияния становятся так называемые природно-климатические решения (ПКР). Большинство из активно практикуемых по всему миру ПКР малоприменимы для Арктики в силу ее труднодоступности и природной специфики: короткий вегетационный сезон, многолетняя мерзлота, отрицательные среднегодовые температуры.

Наиболее эффективными и оптимальными представляются сочетания экологических и углеродных компенсационных мер, направленные на сохранение биологического разнообразия, с одновременным захватом и удержанием атмосферного углерода биомассой и органическим веществом почв, а также на снижение эмиссии углерода из недр.

В качестве основы ПКР для Арктической зоны РФ разработана информационная система мониторинга углеродного баланса природных комплексов. Её основу составляет база пространственных данных, содержащая более 10 000 элементов. Данные агрегированы по биомам в границах муниципальных образований субъектов Арктической зоны РФ. Временной охват данных – с 2001 по 2024 год. Атрибутивная информация включает данные инвентаризации лесов, темпы их восстановления и сокращения, сведения о площади и распространении торфяников, объёмы поглощения углерода лесами, а также объёмы выбросов парниковых газов вследствие потерь древесного покрова.

Информационная система разрабатывалась на основе глобального набора растровых данных, полученного в результате обработки разновременных снимков Landsat, который характеризует динамику проективного покрытия суши и особенности углеродного баланса наземных экосистем.

Созданная база пространственных данных позволяет не только оценивать текущее состояние экосистем Арктики, но и моделировать их будущие изменения под влиянием природных и антропогенных факторов.

Наблюдения Солнца и прогнозирование космической погоды на Горной астрономической станции ГАО РАН

Глатов А.Г.

Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Шаджатмаз, Россия

tlatov@mail.ru

Ключевые слова: Солнце, наблюдения, космическая погода

Мониторинг солнечной активности является ключевым фактором для обеспечения прогнозов космической погоды (КП), которые могут дать возможность различным пользователям время среагировать на надвигающиеся возмущения. Понимание условий на Солнце, которые приводят к КВМ, вспышечной активности или солнечным протонным событиям, зависит от прогресса в научном понимании солнечных процессов, новых солнечных моделей и улучшенных солнечных наблюдений. Прогнозирование КП может быть реализовано на основе данных мониторинга Солнца и солнечного ветра с помощью технических средств как космического, так и наземного базирования.

По режиму наблюдательной программы наблюдения можно разделить на два типа. Наблюдения, проводимые один раз в сутки, и непрерывные наблюдения в течение всего наблюдательного времени.

В сообщении приводятся характеристики наблюдательных программ, рядов данных, получаемых по данным наблюдений и возможное практическое их применение для прогнозирования КП и фундаментальных исследований.

Усовершенствование методов динамико-статистических прогнозов на внутрисезонных и сезонных интервалах времени

Вильфанд Р.М., Хан В.М., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Набокова Е.В., Сумерова К.А.,
Тищенко В.А.

Гидрометцентр России, Москва, Россия

kruglova@mecom.ru

Ключевые слова: численная модель, индексы циркуляции, экстремальные явления

Климатические прогнозы (КП), поставляемые Гидрометцентром России/СЕАКЦ, являются важнейшей продукцией для широкого круга пользователей, включая федеральные, государственные и местные организации, гуманитарные учреждения, а также отдельных индивидуумов. Современная прогностическая система Гидрометцентра России/СЕАКЦ базируется на комплексном использовании синоптических, статистических и гидродинамических методов. В последние годы, благодаря развитию вычислительных технологий, основные усилия сосредоточены на гидродинамическом моделировании: в эксплуатацию введены новая версия модели ПЛАВ072L96 с высоким разрешением и новая версия климатической модели ИВМ РАН (INM-CM6). Это позволило расширить мультимодельный ансамбль в составе моделей ГМЦ, ГГО и ИВМ РАН, внедрить метод сверхдолгосрочного прогнозирования (до 5 лет) и процедуры статистической коррекции для повышения качества прогнозов.

Помимо развития прогностических методик, ключевым направлением деятельности СЕАКЦ является создание специализированных приложений для взаимодействия с различными секторами экономики (энергетика, сельское хозяйство, здравоохранение) и выпуск предупреждений об экстремальных явлениях. Основным механизмом обратной связи с потребителями служат региональные климатические форумы (СЕАКОФ). Таким образом, интегрированный подход, объединяющий передовые физико-математические модели, ансамблевые методы и развитую инфраструктуру взаимодействия, позволяет снижать риски от неблагоприятных климатических явлений и определяет вектор будущих исследований в контексте развития климатического прогнозирования в Гидрометцентре России/СЕАКЦ.

Влияние ветра на распределение растворенного кислорода в оз. Байкал при развитии осеннего термобара

Цыденов Б.О., Барт А.А., Деги Д.В., Трунов Н.С., Луценко А.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
tsydenov@math.tsu.ru

Ключевые слова: ветровое перемешивание, кислород, озеро Байкал, термобар, численное моделирование

Ветер играет важную роль в гидрофизических процессах, происходящих в крупных водоемах в период развития термобара – природного явления, представляющего собой узкую зону погружения водных масс при температуре максимальной плотности. В настоящей работе методами математического моделирования проведено исследование влияния ветра на распределение растворенного кислорода в озере Байкал во время развития осеннего термобара.

Негидростатическая модель, разработанная для воспроизведения термогидродинамических процессов в глубоком водоеме, учитывает эффект вращения Земли, а также внутрисуточную изменчивость атмосферных характеристик, контактирующих с водной поверхностью. Выполненное моделирование охватывает период осеннего охлаждения водоема, начальная температура воды отражает термический режим средней котловины озера Байкал в это время года. В качестве параметров атмосферы использованы данные погодных условий метеостанции Сухая с 1 по 30 ноября 2024 г. Для анализа эффекта ветра проведены расчеты с учетом (вычислительный эксперимент 1) и без учета (вычислительный эксперимент 2) ветрового трения на границе раздела вода – воздух.

Полученные на примере глубоководного разреза р. Болдакова – прол. Малое Море оз. Байкал показали, что при отсутствии ветра высокая концентрация растворенного кислорода отмечалась лишь в приустьевой области, а при его наличии – в теплоактивной зоне и приповерхностном слое открытого озера. Содержание кислорода на фронте термобара в вычислительном эксперименте 1 оказалось значительно выше, чем в вычислительном эксперименте 2. Кроме того, усиление ветра способствовало повышению уровня кислорода в области расположения термобара.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-71-10020,
<https://www.rscf.ru/project/23-71-10020/>.

Численное моделирование распространения импульсов лазерного излучения в тонких облачных слоях

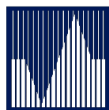
Чжао Х.¹, Илюшин Я.А.^{1,2}

¹Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия
hongli.zhao@qq.com

Ключевые слова: численное моделирование, уравнение переноса излучения, тонкие облачные слои, эффекты поляризации, моделирование Монте-Карло

Проведено теоретическое исследование лазерного зондирования облачных слоев в горизонтальном направлении, в том числе изнутри слоя. Рассмотрено распространение импульса в плоскопараллельном слое облаков (модель СЗ, длина волны 532 нм) двумя подходами: численным решением векторного уравнения переноса излучения методом дискретных ординат с учетом поляризации и статистическим моделированием (Монте-Карло) без учета поляризации. Исследовано влияние поляризации падающего излучения (неполяризованное, линейное, круговое) на параметры выходящего излучения: интенсивность I , поляризованную часть $P \cdot I$ и четвертый параметр Стокса V . Показано, что круговая поляризация лучше сохраняется при многократном рассеянии. Структурных особенностей (типа кольцевого гало) не обнаружено. С помощью метода Монте-Карло выполнена серия расчетов для различных толщин слоя H и параметра асимметрии g (0.9–0.99). Установлено, что скорость экспоненциального спада интенсивности рассеянного излучения с расстоянием зависит в основном от нормированной толщины H/λ_{tr} (λ_{tr} – транспортная длина). Это позволяет оценивать толщину облачного слоя по наблюдениям динамики спада интенсивности. Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов МГУ.



**ЛАБ
Инструменты**

<https://labinstruments.ru>

sa@labinstruments.ru

+7(499)213-2652 (доб. 901)

+7(903)762-0296

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ работает с 2006-го года и на сегодняшний день прочно занимает лидирующие позиции на рынке лабораторного оборудования РФ.

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ занимается поставками высококачественного лабораторного оборудования, аналитических приборов, расходных материалов и реагентов из США, Европы и Китая.

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ специализируется среди прочего на поставках оборудования для изучения окружающей среды (атмосфера, почва, вода), а также для оснащения карбоновых полигонов.

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ поставляет Станции анализа атмосферы методом eddy covariance, газоанализаторы парниковых газов, системы измерения газообмена почв и растений, метеодатчики, анемометры, датчики освещенности, регистраторы сигнала (даталоггеры), датчики и системы для измерения параметров почвы, анализаторы морских и пресных вод и многое другое!

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ представляет в РФ официально и эксклюзивно большинство ведущих производителей из США, Европы и Китая.

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ имеет прямые связи с производителями, что даёт возможность обеспечить лучшие цены и своевременную техническую поддержку.

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ обеспечивает высококвалифицированный сервис благодаря наличию в штате специалистов, прошедших обучение за рубежом.

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ гарантирует индивидуальный подход к каждому клиенту: консультации по подбору оптимального оборудования.

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ оказывает полный комплекс услуг по поставкам оборудования «под ключ» и последующему сопровождению.





ЛАБ Инструменты

<https://labinstruments.ru>

sa@labinstruments.ru

+7(499)213-2652 (доб. 901)

+7(903)762-0296

Цель Компании ЛАБИНСТРУМЕНТЫ — предложить Вам максимально разнообразный ассортимент высококачественной продукции и профессиональный сервис. Накопленный нами 20-летний опыт сделает Ваше сотрудничество с нами максимально продуктивным и комфортным для Вас!

В ассортименте компании ЛАБИНСТРУМЕНТЫ:

- ✓ [Оборудование](#) для оснащения карбоновых полигонов
- ✓ [Газоанализаторы](#) CO₂, H₂O, CH₄, N₂O, NH₃, H₂, O₂ и др.
- ✓ [Метеорологические датчики](#), в том числе [анемометры](#)
- ✓ [Регистраторы сигнала](#) (даталоггеры)
- ✓ [Станции анализа атмосферы](#) eddy covariance
- ✓ [Системы измерения газообмена почв](#)
- ✓ [Датчики освещенности](#)
- ✓ [Анализаторы морских и пресных вод](#)
- ✓ И [многое другое!](#)



Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ работает с большинством лидирующих производителей из США, Европы и Китая:

APOGEE	apogeeinstruments.com
CAMPBELL	campbellsci.com
CO2 METER	co2meter.com
DELTA-T	delta-t.co.uk (с ВПН)
GASLAB	gaslab.com
GILL	gillinstruments.com
HUKSEFLUX	hukseflux.com (с ВПН)
HEALTHY PHOTON	en.healthyphoton.com
KIPP & ZONEN	kipppzonen.com
LI-COR	licor.com
LICA	en.li-ca.com
MAGEE	aerosolmageesci.com
METEK	metek.de
ONSET / HOBO	onsetcomp.com
PP SYSTEMS	ppsystems.com
PRI-ECO	pri-eco.com
RIOT (GROPOINT)	gropoint.com
RM YOUNG	youngusa.com
STEVENS	stevenswater.com



Содержание

Секция I. Динамика и турбулентность атмосферы

Анисимов С.В., Галиченко С.В., Прохорчук А.А., Климанова Е.В.

Корреляционно-спектральные модели турбулентных флуктуаций атмосферного электрического поля по результатам натурных наблюдений и вихреразрезающего моделирования 6

Артамонов А.Ю., Тельминов А.Е., Пашкин А.Д. **Горно-долинная циркуляция на ВНС ИФА РАН** 7

Вазасва Н.В., Семенов В.А., Чхетиани О.Г. **Экстремальные осадки в Кисловодске 27 июля 2018 года: механизмы образования и связь с крупномасштабной циркуляцией атмосферы** 8

Варенцов М.И., Тельминов А.Е., Люлюкин В.С., Ярославцев А.М., Джоу Л., Окунева В.И., Самсонов Т.Е., Степаненко В.М., Репина И.А.
Создание базы данных наблюдений за турбулентным энергообменом городских ландшафтов с атмосферой в Северной Евразии 9

Гаврилов Н.М., Кшевещкий С.П., Коваль А.В., Курдяев Ю.А.
Моделирование спектров вторичных акустико-гравитационных волн в областях критических уровней среднего ветра 10

Гаврильсва Г.А., Аммосов П.П., Колтовской И.И., Юмшанов Н.Н.
Изменение содержания малых составляющих и температуры атмосферы на высоте излучения ОН во время ВСП 2018-2019 года на меридиональной сети оптических станций в Якутии 11

Горбунов М.Е., Доловова О.А. **Квантовые плотности как инструмент частотно-временного анализа и моделирования радиозатменных данных** 12

Диденко К.А., Безотеческая Е.А., Ермакова Т.С., Коваль А.В., Маурчев Е.А.
Волновые процессы в средней атмосфере во время развития малого внезапного стратосферного потепления: событие в январе 2015 г. 13

Докукин С.А., Тихоненко Н.Д., Гинзбург А.С.
Исследование температурного и ветрового режима зимнего периода в центре ЕТР с помощью моделей COSMO и WRF 14

Дрига М.Б., Шиховцев А.Ю., Ковадло П.Г. **Совершенствование моделей машинного обучения для оценки вертикального профиля оптической турбулентности по метеорологическим данным** 15

Дюкарев Е.А., Дмитриченко А.А., Заров Е.А., Кулик А.А., Лапшина Е.Д.
Потоки тепла, влаги и парниковых газов в лесных и болотных экосистемах стационара Мухрино 16

<u>Ефимов М.М., Гаврилов Н.М.</u> Параметры внезапных стратосферных потеплений на высотах 30 км и 40 км	17
<u>Зайцева Д.В., Люлюкин В.С., Каллистратова М.А., Кузнецов Д.Д.</u> Параметры субмезомасштабных движений в устойчивом АПС по данным многоточечных содарных измерений	18
<u>Закиров М.Н., Куличков С.Н.</u> Метод построения траектории акустического луча от импульсного источника	19
<u>Захаров В.И., Соловьева М.С., Шалимов С.Л.</u> О влиянии воздушных вихрей на верхнюю атмосферу Земли	20
<u>Коваль А.В., Топтунова О.Н., Диденко К.А., Ермакова Т.С., Гаврилов Н.М.</u> Исследование влияния внезапного стратосферного потепления на стратосферно-тропосферный обмен и образование волн холода	21
<u>Кочин А.В.</u> Турбулентность внутри облака уменьшает наблюдаемое значение относительной влажности	22
<u>Кошкина В.С., Гавриков А.В., Ежова Е.А., Филончик П.Г.</u> Климатология мезомасштабных вихрей в атмосфере Северной Атлантики: результаты автоматической идентификации и физическая интерпретация типов	23
<u>Креузов А.С., Куличков С.Н., Попов О.Е., Зайцева Д.В., Люлюкин В.С., Кузнецов Д.Д.</u> Анализ когерентных возмущений в устойчиво стратифицированном АПС однородной степной поверхности	24
<u>Кудин Д.В., Соловьев А.А., Нанов М.И., Красноперов Р.И.</u> Моделирование токовых структур полярной ионосферы по данным наземных и спутниковых наблюдений	25
<u>Курганский М.В.</u> Какова вероятность прохождения смерчей (торнадо) через объекты на земной поверхности?	26
<u>Кшевцевский С.П., Курдяева Ю.А., Гаврилов Н.М., Закиров М.Н.</u> Аппроксимация системы законов сохранения для газа, стратифицированного полем тяжести; функция Ляпунова и устойчивость	27
<u>Люлюкин В.С., Зайцева Д.В., Каллистратова М.А., Кузнецов Д.Д.</u> Анализ динамической структуры устойчивого АПС по содарным данным с использованием композитного анализа	28
<u>Мамонтов А.Е., Горбунов М.Е., Федорова О.В.</u> Изучение пространственных флуктуаций аэрозоля в проекте DELICAT методом фазовых спектров	29
<u>Медведева И.В., Ратовский К.Г.</u> Многолетние изменения характеристик верхней атмосферы в Восточной Сибири: зависимость от солнечной, геомагнитной и атмосферной активности	30

<u>Титов С.В., Николашкин С.В., Сидоров Н.Э.</u> Оценка активности ВГВ в зимней средней атмосфере над Якутском	31
<u>Носов В.В., Лукин В.П., Носов Е.В., Торгаев А.В.</u> Эргодичность случайных процессов. Эффект эволюции уровня	32
<u>Перевалова Н.П., Шестаков Н.В., Болсуновский М.А., Золотухина Н.А.</u> Анализ возмущений, вызванных в атмосфере Земли извержением вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай в январе 2022 года	33
<u>Репина И.А., Чечин Д.Г., Шестакова А.А., Барсков К.В., Пашкин А.Д., Артамонов А.Ю.</u> Региональное взаимодействие атмосферы и океана	34
<u>Ривин Г.С., Розинкина И.А. и сотрудники ОЧКП</u> Численный прогноз погоды и близкие проблемы моделирования турбулентности и климата: современное состояние и дальнейшее развитие	35
<u>Согачев А.Ф., Чечин Д.Г., Репина И.А.</u> Оценка зоны охвата (footprint) турбулентных измерений в условиях сложной орографии арктической тундры (на примере острова Самойловский)	36
<u>Толстых М.А., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В., Гойман Г.С., Зарипов Р.Б., Алипова К.А., Мизяк В.Г., Рогутов В.С., Бирючева Е.Н.</u> Развитие модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ и ее участие в проекте WP-MIP	37
<u>Фадеев Р.Ю., Толстых М.А., Бирючева Е.О., Гойман Г.С.</u> Влияние облачно-радиационных и аэрозольно-радиационных связей на точность воспроизведения атмосферной циркуляции моделью ПЛАВ	38
<u>Чхетиани О.Г., Гледзер Е.Б., Гледзер А.Е., Хапаев А.А.</u> Турбулентность, вихри, струйные течения и структурные переходы в квазигеострофических гидродинамических экспериментах	39
<u>Шишов Е.А., Воловцов А.А.</u> Сравнение турбулентных потоков тепла и импульса над различными типами подстилающей поверхности в степях Калмыкии	40

Секция II. Диагностика и моделирование климата

<u>Бабанов Б.А., Семенов В.А.</u> Воспроизведение режимов крупномасштабной атмосферной циркуляции в климатических моделях CMIP6	41
<u>Богомоллов В.Ю., Рязанова А.А., Степаненко В.М., Аббазов А.Э., Дюкарев Е.А.</u> Моделирование болотных экосистем в модели деятельного слоя суши TerM	42
<u>Брагина В.В., Володин Е.М.</u> Оценки эффективного и мгновенного радиационного форсинга для климатической модели ARTS-ESM-L, полученные в рамках проекта CMIP7	43
<u>Володин Е.М., Черненко А.Ю., Брагина В.В., Тарасевич М.А.</u> Модель климатической системы ARTS-ESM	44

<u>Воропай Н.Н., Рязанова А.А.</u> Изменений гидротермических экстремумов на территории Сибири в XX–XXI вв.	45
<u>Горбунова Д.А.</u> Изменения условий холодого дискомфорта в Арктике по данным метеорологических станций	46
<u>Грицун А.С., Володин Е.М., Брагина В.В., Тарасевич М.А.</u> Исследование предсказуемости крупномасштабных атмосферных и гидрологических процессов на интервалах год-десятилетие с использованием модели Земной системы INM-CM5/6.	47
<u>Гулев С.К., Григорьева В.Г.</u> Реконструкция спектральной климатологии ветрового волнения в Северной Атлантике на основе судовых наблюдений (1970-2024)	48
<u>Гущина Д.Ю., Гвоздева А.В.</u> Воспроизведение механизма генерации Эль-Ниньо атмосферными возмущениями внутрисезонного масштаба в моделях CMIP6 и INM-CM6.	49
<u>Демин В.И., Иванов Б.В., Карандашева Т.К., Священников П.Н., Колосова М.В., Масловский А.С.</u> О создании однородного ряда приземной температуры воздуха в ГМО «Баренцбург» (Шпицберген) по данным ранней серии измерений на норвежской метеорологической станции «Green Harbor» (1911-1930 гг.)	50
<u>Елисеев А.В., Акперов М.Г., Аржанов М.М., Денисов С.Н., Чернокульский А.В., Мурышев К.Е., Парфенова М.Р., Бабанов Б.А., Бугримов А.В., Нарижная А.И., Плосков А.Н., Тимажев А.В., Блинов П.Д., Ныров А.О.</u> Диагностика и моделирование климатические изменения разных эпох и вклада различных процессов в эти изменения	51
<u>Ильющенкова И.А., Иванов Б.В.</u> Особенности атмосферной циркуляции при волнах тепла на арх. Шпицберген	52
<u>Кланг П.С., Тарасова Л.Л., Хан В.М.,</u> Крупномасштабные особенности поля влажности почвы по данным станционных наблюдений, реанализа ERA-5 и начальным данным анализа модели ПЛАВ на территории Черноземной зоны России	53
<u>Козлов А.В., Школьник И.М., Павлова Т.В.</u> Моделирование регионального климата Северной Евразии с использованием новой схемы тепло- и влагообмена суши с атмосферой	54
<u>Кострыкин С.В., Тарасевич М.А., Черненко А.Ю., Володин Е.М.</u> Исследование линейности и обратимости отклика климатической системы на выбросы CO₂, заданные по протоколам ESM-FLAT10, в модели земной системы ИВМ РАН	55
<u>Кравец К.А., Гусакова М.А., Солдатенко С.А.</u> Моделирование эффектов временных запаздываний в механизмах обратных связей климатической системы на примере концептуальной модели с учетом углеродного цикла	56

Кулямин Д.В., Дымников В.П. Численное моделирование верхней атмосферы и ионосферы	57
Ларина А.В., Гаврилов Г.О., Казанцев В.С. Климатически обусловленные изменения в криолитозоне и их влияние на величину эмиссии CH₄ пресноводными экосистемами Пур-Тазовского междуречья	58
Лоскутов Е.М., Мурзина П.А., Мухин Д.Н., Сафонов С.Е. Метод эмпирического анализа дальних связей в климатической системе Земли	59
Малахова В.В. Оценка темпов деградации субаквальной мерзлоты арктического шельфа при сценариях изменения климата по данным CMIP6	60
Маноле А.А., Воропай Н.Н. Орографическое воздействие на распределение осадков на территории Тункинской котловины	61
Моргунова А.А., Семенов В.А. Факторы формирования экстремальных приземных температур во время волн тепла 1972 и 2010 гг. на Европейской территории России	62
Мухин Д.Н., Фейгин А.М., Самойлов Р.С., Сафонов С.Е. Подход к исследованию режимов циркуляции атмосферы и дальних связей на основе скрытых марковских моделей	63
Перцев Н.Н., Перминов В.И., Мерзляков Е.Г., Далин П.А., Медведева И.В., Суходов В.А. Климатическая изменчивость области верхней мезосферы и нижней термосферы (ВМНТ) по данным ее многолетних наблюдений	64
Ратовский К.Г., Сетов А.Г. Методы оценки изменения климата верхней атмосферы по данным долговременных измерений на Иркутской ионосферной станции	65
Селезнев А.Ф., Буянова М.Н., Гаврилов А.С., Лоскутов Е.М., Фейгин А.М. Идентификация и анализ главных мод климатической изменчивости по ансамблям реализаций моделей Земной системы	66
Соломина О.Н. Изменения климата на северном Кавказе за последние 2 тыс. лет... ..	67
Тарасевич М.А., Володин Е.М. Воспроизведение мод естественной изменчивости и экстремальных погодно-климатических явлений моделью Земной системы ARTS-ESM-M	68
Фейгин А.М., Мухин Д.Н., Лоскутов Е.М., Гаврилов А.С., Селезнев А.Ф. Эмпирический подход к моделированию и прогнозу эволюции климатических систем	69
Черненко А.Ю., Володин Е.М. Оценка характеристик углеродного цикла в модели Земной системы ARTS-ESM	70
Чернокульский А.В. Атмосферные конвективные явления в условиях изменения климата	71

Чистиков Д.Н., Финенко А.А., Вигасин А.А. Моделирование димерного вклада в континуальное поглощение водяного пара в дальней ИК области методом классических траекторий	72
Шашкин В.В., Гойман Г.С., Марханов Д.А., Третьяк И.Д., Хайдапов Ж.Б. Разработка глобальной модели атмосферы для исследований климата и прогноза погоды с высоким пространственным разрешением	73
Яковлев Н.Г., Благодатских Д.В., Ежкова А.А., Оноприенко В.А. Моделирование климата Мирового океана в рамках национальной модели Земной Системы RusESM.....	74

Секция III. Состав атмосферы и перенос примесей

Акишина С.В., Поляков А.В., Виролайнен Я.А. Методика определения вертикального распределения озона в атмосфере на основе измерений уходящего теплового ИК излучения с борта спутников серии «Метеор-М» №2	75
Березина Е.В., Панкратова Н.В., Акперов М.Г., Моисеенко К.Б., Губанова Д.П., Беликов И.Б., Белоусов В.А. Вариации концентрации загрязняющих примесей в условиях блокирующих антициклонов по измерениям на станции ИФА им. А.М. Обухова РАН в 2020–2023 гг.	76
Боровский А.Н., Постыляков О.В., Шамсутдинов Д.Р. Измерения вертикального распределения содержания NO ₂ в г. Кисловодске методом 2D-MAX-DOAS	77
Васильев Д.Ю., Семёнов В.А., Корнаухов А.Д., Кучерова Д.С., Семенова Г.Н. Влияние неблагоприятных метеорологических условий на уровень загрязнения атмосферного воздуха в городе Уфе	78
Вигасин А.А., Казаков К.В., Финенко А.А., Чистиков Д.Н. Индуцированное поглощение молекулярных газов в планетных атмосферах	79
Голиков А.Д., Чубарова Н.Е., Кирсанов А.А. Новая модель городского аэрозоля и ее применение для оценки радиационных эффектов в Московской агломерации в условиях высокого альбедо поверхности	80
Горчаков Г.И., Виноградова А.А., Карпов А.В., Гушин Р.А., Дадченко О.И. Оптические свойства и микрофизические характеристики атмосферного аэрозоля: новые результаты исследований	81
Губанова Д.П., Виноградова А.А. Дальний перенос аридного аэрозоля в Арктическую зону России: наземные наблюдения и реанализ	82
Зенкова П.Н., Антонов А.В., Панченко М.В. Моделирование оптических характеристик приземного аэрозоля Западной Сибири с использованием ансамбля модельных реализаций и учётом неопределённости измерений.....	83

<u>Казанцев В.С.,</u> Ларина А.В., Гаврилов Г.О., Устинов Н.Б., Усачева А.А., Кривенко Л.А., Белов А.Е., Свирида Н.М., Цветнова Е.А. Эмиссия метана из тундровых экосистем Тазовского района ЯНАО. Результаты измерений 2023-2025 годов	84
<u>Касимов Н.С.,</u> Кошелева Н.Е., Поповичева О.Б. Состав микрочастиц в системе «атмосфера–снег–дорожная пыль–почвы–поверхностные воды»	85
<u>Колтовской И.И.,</u> Гаврильева Г.А., Аммосов П.П. Температура мезопаузы по измерениям эмиссии ОН на меридиональной сети инфракрасных спектрографов	86
<u>Коновалов С.К.,</u> Орехова Н.А., Медведев Е.В. Потоки углекислого газа на поверхности Черного моря	87
<u>Кравчишина М.Д.,</u> Швед В.А., Калгин В.Ю., Пестунов Д.А., Штабкин Ю.А., Сломнюк С.В., Рогова З.М., Кловиткин А.А., Новигатский А.Н., Баранов Б.В., Анисимов И.М., Севастьянов В.С., Стрелецкая И.Д. Роль современной разгрузки глубинных флюидов в морях европейского сектора Арктики в эмиссии метана в атмосферу	88
Лапшин В.Б., <u>Лобов А.С.</u> Протоны и альфа-частицы земного и космического происхождения, как источники пополнения водорода и гелия в экзосфере Земли	89
<u>Матешева А.В.,</u> Емелина С.В. Изучение рисков здоровью вследствие динамики дальнего загрязнения атмосферы и погоднo-климатической комфортности в некоторых курортных районах юга РФ в условиях меняющегося климата до 2050 г.	90
<u>Миллер Е.А.,</u> Лезина Е.А., Лукьянов А.Н., Баранов Н.А. Влияние характеристик турбулентного рассеяния на концентрацию загрязнителя в модели гауссового факела по измеренным параметрам температурных инверсий пограничного слоя атмосферы	91
<u>Мордовской П.Г.,</u> Старостин Е.В., Неустроев А.А. Мониторинг массовой концентрации черного углерода с 2018 по 2025 год в приземном слое воздуха в Центральной Якутии	92
<u>Нахаев М.И.,</u> Семенов В.А., Чернокульский А.В., Беликов И.Б., Белоусов В.А., Артамонов А.Ю. Воспроизведение эпизодов высоких концентраций приземного озона в г. Кисловодске: оценка эффективности модели Chimere	93
<u>Небосько Е.Ю.,</u> Власенко С.С., Михайлов Е.Ф., Ивахов В.М. Оценка и коррекция коэффициента поглощения света частицами, полученного с помощью аэлометра АЕ-33 в ходе натурных измерений на фоновой станции ZOTTO	94
<u>Николашкин С.В.,</u> Титов С.В., Евсеев У.Н. Влияние солнечных протонных событий на аэрозольное наполнение средней атмосферы	95

<u>Поповичева О.Б.</u> , Чичасева М.А., Слободян В.Ю., Касимов Н.С. Черный углерод как климатически активная компонента атмосферы в Западносибирском секторе Арктики: природные и антропогенные источники	96
<u>Постыляков О.В.</u> , Боровский А.Н., Макаренков А.А., Мухартова Ю.В., Христова А.С., Чуличков А.И. Об восстановлении полей содержания и источников двуокиси азота в тропосфере по измерениям КА серии Ресурс-П	97
<u>Рагульская М.В.</u> Атмосферные переносы аэропланктона как возможная причина пандемий в глобальных минимумах солнечной активности	98
<u>Ракитин В.С.</u> , Федорова Е.И., Еланский Н.Ф.Ф. Особенности анализа долговременных спутниковых рядов при оценке трендов состава атмосферы и эмиссий парниковых газов	99
<u>Рублев А.Н.</u> , Голомолзин В.В., Горбаренко А.В., Киселева Ю.В. Оценки региональных потоков углерода в Центральной Сибири с 2009 по 2021 год по данным наземных и спутниковых измерений	100
<u>Симонова Г.В.</u> , Маркелова А.Н., Давыдкина А.Е. Определение доминирующих источников загрязнения воздуха в Академгородке г. Томска на основе содержания углерода, азота и их изотопных характеристик в атмосферном аэрозоле, мхах и лишайниках	101
<u>Смышляев С.П.</u> , Варгин П.Н., Цветкова Н.Д. Численное моделирование формирования озоновых мини-дыр в Арктике и Субарктике	102
<u>Тертышников А.В.</u> Возмущения поля иона Н⁺ на орбите КА «Метеор	103
<u>Хоркин В.С.</u> , Доброленский Ю.С., Евдокимова Д.Г., Ионов Д.В., Иванова А.Е., Дзюбан И.А., Вязоветский Н.А., Кобышев М.Д., Шаталов А.Е., Викторов А.И., Кораблев О.И. Общее содержание озона и диоксида азота по данным первых месяцев работы прибора Озонометр-ТМ на борту космических аппаратов «Ионосфера-М»	104
<u>Христова А.С.</u> , Постыляков О.В., Чуличков А.И., Боровский А.Н. О погрешностях восстановления распределения источников NO₂ в тропосфере по спутниковым измерениям	105
<u>Шамсутдинов Д.Р.</u> , Постыляков О.В., Боровский А.Н. Восстановление вертикальных профилей экстинкции аэрозоля по измерениям MAX-DOAS с использованием нейросетевой архитектуры на основе трансформера	106
<u>Шпак К.А.</u> , Ионов Д.В., Косцов В.С., Небосько Е.Ю., Зайцев Н.А. Исследование эволюции состава приземного слоя во время длительных температурных инверсий в районе Санкт-Петербурга	107

<u>Vlasova G.A.</u> , Le Dinh Mau , Ponomarev V.I., Pham Sy Hoan , Rudykh N.I., Marchenko S.S., Lebedev S.A. Typhoon tracks as a factor in the transformation of the spring reversal of the South China Sea current system	108
Алексеева А.В., Давыдов В.Е., Зинкина М.Д., Иванов В.Н., <u>Палей А.А.</u> , Писанко Ю.В., Струнин А.М., Щелкалин А.В. Лабораторные эксперименты по электрическому воздействию на влажный воздух	109
<u>Гавриков А.В.</u> , Кошкина В.С., Никитенко -Валиахметов М.Р., Ежова Е.А., Филончик П.Г., Кузнецов Г.С. Методология автоматической идентификации, трекинга и типизации мезомасштабных вихревых структур в данных численного моделирования	110
<u>Гельфан А.Н.</u> , Медведев А.И., Степаненко В.М. Совершенствование параметризаций гидрологических процессов в моделях деятельного слоя суши (на примере модели TerM)	111
<u>Гинзбург А.С.</u> , Логофет Д.О., Александров Г.А., Белова И.Н., Голубятников Л.Л., Докукин С.А., Завалишин Н.Н., Казанцев В.С., Помелова М.А., Александров Г.Г., Кривенок Л.А., Фалалеева В.А. Полвека Лаборатории математической экологии: биологический круговорот, «ядерная зима», климат мегаполиса	112
<u>Доманюк А.В.</u> , Ананьев Р.А., Спивак Э.А., Шахова Н.Е., Саломатин А.С., Ковика Д.Д., Кучеров В.А., Дударев О.В., Семилетов И.П., Черных Д.В. Оценка количества метана, транспортируемого всплывающими пузырьками из донных отложений в водную толщу и приводный слой атмосферы на мелководном полигоне в заливе Буор-Хая моря Лаптевых	113
<u>Емелина С.В.</u> , Хан В.М. Использование сверхдолгосрочных прогнозов модели Земной системы ИВМ РАН для специализированного обслуживания секторов экономики	114
<u>Ефименко Н.В.</u> , Корягина Ю.В., Нопин С.В., Нопина В.С., Тычинина А.П. Лечебные свойства климата и ландшафтно-рекреационный потенциал городов курортов Кавказских Минеральных Вод	115
Копцов Я.В., <u>Илюшин Я.А.</u> Численное моделирование переноса поляризованного микроволнового радиоизлучения в дождевых осадках	116
<u>Копцов Я.В.</u> , Илюшин Я.А. Численное моделирование радиояркостной температуры разорванной кучевой облачности при радиометрии тропосферных облаков с орбитальных космических аппаратов	117
Копылов Е.А., Одинцов С.Л., Невзорова И.В., Потанин .С.А., <u>Сачков М.Е.</u> Оценка радиуса Фрида с использованием различных профилей Cn^2 в различных астрономических пунктах	118

<u>Копылов Е.А.,</u> Одинцов С.Л., Невзорова И.В., Сачков М.Е. Сравнение структурной характеристики Sn_2 в приземном слое атмосферы в различных астрономических пунктах	119
<u>Корягина Ю.В.,</u> Нопин С.В., Ефименко Н.В., Караваева А.С. Влияние основных метеорологических параметров на изменчивость концентраций аэрозольных частиц различных размерных диапазонов в приземном слое атмосферы курорта Эссентуки	120
<u>Костяной А.Г.,</u> Гинзбург А.И., Шеремет Н.А. Снижение уровня Каспийского моря и региональные изменения климата	121
<u>Красноперов Р.И.,</u> Гвишиани А.Д., Костяной А.Г., Шевалдышева О.О., Гвоздик С.А., Лебедев С.А. Геоинформационный анализ региональных климатических изменений в российской Арктике для поддержки развития транспортной инфраструктуры	122
<u>Леонов И.И.,</u> Черешнюк С.В., Крылов А.А., Комаров Д.М. Численное моделирование атмосферного обледенения на воздушных линиях электропередачи	123
<u>Макоско А.А.</u> О концепции волнового механизма метеотропности вследствие вариаций атмосферного давления	124
<u>Назарова А.В.,</u> Федорова А.А., Жарикова М.С., Трохимовский А.Ю., Патракеев А.С., Кораблев О.И. Оценка точности измерения содержания парниковых газов в атмосфере Земли орбитальным спектрометром высокого разрешения «Дрида»	125
<u>Никитенко-Валиахметов М.Р.,</u> Кошкина В.С., Гавриков А.В., Ежова Е.А. Физическая типизация когерентных вихревых структур атмосферы по данным высокоразрешающего моделирования: выявление полярных мезоциклонов	126
<u>Пашкин А.Д.,</u> Мортиков Е.В., Репина И.А., Тельминов А.Е., Гладских Д.С., Богомоллов В.Ю., Смирнов С.В. Измерение турбулентных характеристик акустическим анемометром АМК-04 и сравнение с результатами вихреразрешающего моделирования	127
<u>Прохорова У.В.,</u> Терехов А.В. Упрощенная параметризация турбулентного теплообмена ледника с атмосферой в сезон абляции	128
<u>Слободян В.Ю.,</u> Дудов С.В., Прядилина А.В. Информационная система мониторинга углеродного баланса экосистем - основа природно-климатических решений в Арктической зоне РФ	129
<u>Тлатов А.Г.</u> Наблюдения Солнца и прогнозирование космической погоды на Горной астрономической станции ГАО РАН	130
Вильфанд Р.М., Хан В.М., <u>Круглова Е.Н.</u> , Куликова И.А., Набокова Е.В., Сумерова К.А., Тищенко В.А. Усовершенствование методов динамико-статистических прогнозов на внутрисезонных и сезонных интервалах времени	131

Цыденов Б.О., Барт А.А., Деги Д.В., Трунов Н.С., Луценко А.В.

Влияние ветра на распределение растворенного кислорода в оз. Байкал при развитии осеннего термобара 132

Чжао Х., Илюшин Я.А. **Численное моделирование распространения импульсов лазерного излучения в тонких облачных слоях 133**

Компания ЛАБИНСТРУМЕНТЫ 134