

Российская академия наук
Геофизическая обсерватория «Борок» –
филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Институт прикладной физики
Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова

СОСТАВ АТМОСФЕРЫ АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

XVIII Всероссийская школа-конференция
молодых ученых

Борок
29 сентября – 3 октября 2014 г.

Тезисы докладов

Ярославль
2014

УДК 621.3.01(063)

ББК 31.211я431

Г54

Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы. Тезисы докладов 18-й Всероссийской школы-конференции молодых ученых / Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта – Ярославль : Филигрань, 2014. – 112 с.

ISBN 978-5-906682-14-7

Ответственный редактор:
д.ф.-м.н. *С.В. Анисимов*

В сборнике представлены тезисы докладов 18-й всероссийской школы-конференции молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы». Для ученых, работающих в области химии и физики атмосферы, атмосферного электричества, моделирования климата и смежных областях, преподавателей и студентов ВУЗов.

Проведение конференции и издание тезисов докладов осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Отделения наук о Земле РАН, Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и гранта Правительства РФ № 14.В25.31.0023.

ISBN 978-5-906682-14-7

© ГО «Борок» ИФЗ РАН макет,
оформление, верстка, 2014
© Коллектив авторов, текст, 2014

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

1. Анисимов С.В. – д.ф.-м.н., Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок (председатель);
2. Еланский Н.Ф. – член-корреспондент РАН, д.ф.-м. н., Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва (сопредседатель);
3. Фейгин А.М. – д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород (сопредседатель);
4. Мареев Е.А. – член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;
5. Мохов И.И. – член-корреспондент РАН, Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва;
6. Катцов В.М. – д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург;
7. Похотелов О.А. – д.ф.-м. н., Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва;
8. Володин Е.М. – д.ф.-м.н., Институт вычислительной математики РАН, Москва;
9. Куницын В.Е. – профессор, д.ф.-м.н., Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва;
10. Чубарова Н.Е. – д.г.н., географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;
11. Моисеенко К.Б. – к.ф.-м.н., Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва.

Конференция организована при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, Отделения наук
о Земле РАН, Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН
и гранта Правительства РФ № 14.В25.31.0023.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Восемнадцатая Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы» (САТЭП-2014) организована Геофизической обсерваторией «Борок» – филиалом Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН при участии Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН и Института прикладной физики РАН. Школа-конференция проводится с 29 сентября по 3 октября 2014 г. в поселке Борок Ярославской области.

Школа-конференция имеет целью развитие творческих научных связей поколений российских ученых, являясь органическим продолжением Всероссийских конференций молодых ученых «Атмосферный озон» (1995–1997 гг.), «Малые примеси в атмосфере» (1998–1999 гг.), «Малые примеси атмосферы и атмосферное электричество» (2000–2003 гг.), «Состав атмосферы и электрические процессы» (2004–2005 гг.), «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы» (2006–2013 гг.). Постоянное расширение тематики конференций обусловлено сложным характером атмосферных процессов, их взаимосвязью и взаимодействием. Объединение в рамках проведенных конференций направлений изучения газовых составляющих атмосферы, атмосферного аэрозоля и электричества атмосферы, моделирования климата и формирования глобальной электрической цепи стало стимулом дальнейшей координации научных исследований и способствовало получению новых научных результатов в динамично развивающихся областях современной физики атмосферы.

Программа САТЭП-2014 включает четыре секции:

1. Наблюдения малых газовых примесей и электрических полей в атмосфере. Анализ и интерпретация данных. Развитие инструментальной базы.
2. Динамика фотохимических и радиационных атмосферных процессов.
3. Генерация электрических полей в нижней атмосфере и формирование глобальной электрической цепи.
4. Диагностика и моделирование физико-химических процессов в климатических системах.

В рамках каждой из секций наряду с докладами молодых (до 35 лет) исследователей представлены лекции ведущих российских ученых о последних достижениях в различных областях физики атмосферы.

Школа-конференция организована при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Отделения наук о Земле РАН, Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и гранта Правительства РФ № 14.В25.31.0023.

Анисимов С.В.
Еланский Н.Ф.
Фейгин А.М.

**НАБЛЮДЕНИЯ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В АТМОСФЕРЕ.
АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ.
РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ.**

Гравитационно-сдвиговые волны в атмосферном пограничном слое

М.А. Каллистратова¹, Р.Д. Кузнецов^{1,2}

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

² Финский метеорологический институт, Хельсинки

Существование в нижней тропосфере мезомасштабных волнообразных структур (с длинами волн от сотни метров до нескольких километров) известно с позапрошлого века по наблюдениям облаков необычной формы.



Рис. 1. Волны Кельвина-Гельмгольца (ВКГ) в атмосфере. а) – схематическое изображение «валов», «кошачьих глаз» и «наклонных полос». б) и с) – примеры облаков с ВКГ, Воскресенский район Московской области, октябрь 2013 г.

С развитием средств наземного дистанционного зондирования (радаров, содаров, лидаров) инверсионные слои с такими структурами были обнаружены в поле интенсивности эхо-сигнала (Рис.2) и в поле ветра (Рис. 3).

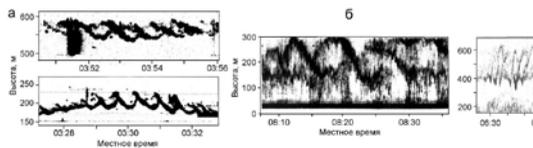


Рис. 2. Визуализация волн на эхограммах. а – ЧМ радар (Сан Диего, 1970); б – содар (Оклахома, 1971); в – содар (Колорадо, 1971); г – минисодар (Звенигород, 1991).

Гравитационно-сдвиговым волнам посвящено несколько сотен теоретических работ, но наблюдений таких волн в атмосферном пограничном слое (АПС) мало. На Звенигородской научной станции (ЗНС) за 4 года зафиксировано лишь около 300 эпизодов длительностью от 15 мин до нескольких часов (6 % от полного времени существования инверсий).

Получена некоторая климатологическая статистика параметров волн. Но остаётся много вопросов. Не определены достаточные условия возникновения волн. Неизвестна связь их амплитуды и времени жизни с параметрами АПС. В связи с редкостью появления волн возникает вопрос об их реальном влиянии на турбулентный обмен в статически устойчивом АПС, которое часто постулируется как решающее.

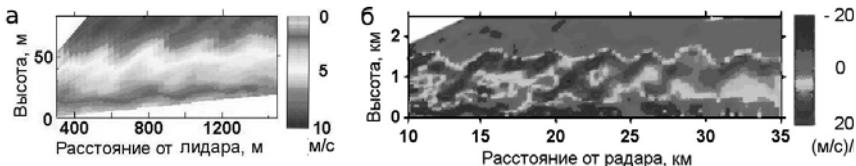


Рис. 3. Визуализация волн в пространственных координатах. а – сканирующий лидар, валы в поле скорости ветра (Канзас, 1999); б – сканирующий радар, «кошачьи глаза» в поле вертикального сдвига скорости ветра (Чилболтон, 1995).

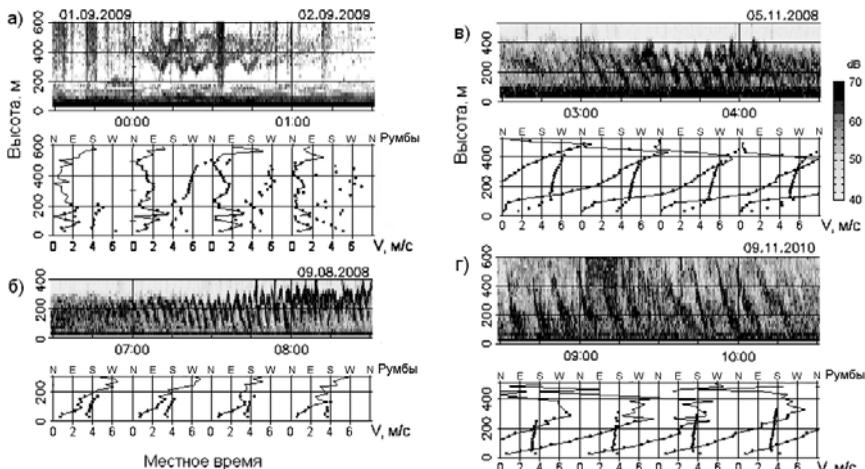


Рис. 4. Примеры волн на эхограммах содара ЛАТАН-3, ЗНС, 2008–2011 гг. а) – структуры типа «кошачий глаз»; б), в) и г) – типа «наклонные полосы». Под эхограммами показаны осреднённые за 30 мин профили модуля скорости (точки с линиями) и направления ветра в румбах (точки без линий).

Неизвестна также степень репрезентативности содарной и радарной регистрации волн. Очевидны ограничения, связанные с разрешающей способностью аппаратуры. Однако, неясно, насколько информативна модуляция волнами поля флуктуаций показателя преломления, и как глубина модуляции эхо-сигнала связана со средним градиентом температуры и интенсивностью турбулентности. Более прозрачными являются пространственные наблюдения волн в поле ветра сканирующим импульсным радаром. Но радары имеют слишком большую мертвую зону и недостаточное разрешение для измерений в АПС. По-видимому, наиболее перспективна регистрация волн в поле ветра доплеровским сканирующим лидаром. Но эта аппаратура весьма сложна, и пока в мире существует лишь такой лидар.

Изменчивость и прогнозирование приземного озона в Московском регионе

А.А. Архангельская, И.Ю. Шалыгина
ФГБУ «Гидрометцентр России», Москва

В Московском регионе эпизоды с повышенной концентрацией озона в приземном воздухе наблюдаются в теплый сезон ежегодно. В соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения приземный озон является приоритетным веществом при оценке качества воздуха. Задача прогнозирования ситуаций с представляющими угрозу здоровью концентрациями озона является важной и актуальной.

В Росгидромете разработаны и утверждены статистические методы прогноза максимальной суточной концентрации озона. В последние годы в Гидрометцентре России проводятся экспериментальные расчеты концентраций приземного озона на основе двух химико-транспортных моделей. Для тестирования химико-транспортных моделей используются данные сети ГПБУ «Мосэкомониторинг» на 10 стационарных постах. В докладе обсуждаются полученные статистические характеристики модельных погрешностей, показана их изменчивость на территории города. Отдельно анализируются эпизоды с экстремальными значениями концентраций приземного озона и результаты прогнозирования в них. Верификация химико-транспортных моделей в Московском регионе позволит распространять модельные прогнозы на другие регионы Европейской части России.

Сравнение рядов общего содержания двуокиси азота на Северном Кавказе из измерений характеристик прямого и рассеянного солнечного излучения

А.Н. Боровский, А.Я. Арабов, А.С. Еланский, А.С. Елохов
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

На Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС) Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (43.7°N, 42.7°E) с 1979 по 2008 гг. проводились регулярные измерения общего содержания двуокиси азота (NO₂) по прямому солнечному излучению. В связи со сложностью организации подобных наблюдений, на других станциях регулярные измерения общего содержания NO₂ велись по рассеянной в зените солнечной радиации.

Одновременных долговременных измерений общего содержания NO₂ как по прямой, так и по рассеянной радиации не проводилось. Исключением является станция КВНС, где с 2000 по 2008 гг. параллельно с измерениями общего содержания NO₂ по прямому солнечному излучению проводились измерения по рассеянному солнечному излучению. Это предоставляет уникальную возможность сравнить две методики наблюдения по 9-летним рядам наблюдений. Подобное сравнение проводилось в работе [1], где для сравнения ряда, полученного по прямому солнечному излучению, привлекались данные с других станций.

Регистрация спектров как рассеянного, так и прямого солнечного излучения на КВНС проводились аналогичными измерительными комплексами. Для измерения спектров рассеянного излучения базой комплекса служил спектрофотометр МДР-23, прямого — МДР-3. Спектральное разрешение МДР-3 и МДР-23 составляло 0,4 нм и 0,8 нм, чего достаточно для фиксирования деформации спектра, вызванной поглощением NO₂. Спектральный диапазон обоих измерений идентичен. Восстановление содержания NO₂ в наклонном столбе атмосферы из измерений как прямого, так и рассеянного солнечного излучения возможно по единой методике DOAS.

Одновременность и продолжительность наблюдений, сходство измерительных комплексов, единая методика обработки спектров позволяют связать отличия в полученных рядах общего содержания NO₂ только с методикой наблюдений и предоставляют уникальную возможность для сравнения двух основных методик наблюдений общего содержания NO₂.

Литература

1. *Боровский А.Н., Еланский Н.Ф., Арабов А.Я., Елохов А.С., Сеник И.А., Савиных В.В.* Двуокись азота в атмосфере над Северным Кавказом: тридцать лет наблюдений. Доклады Академии наук, Геофизика, 2012, т. 446, № 3, с. 318-324.

Об измерении интегрального содержания формальдегида в тропосфере

*А.Н. Боровский*¹, *А.С. Елохов*¹, *О.В. Постыляков*¹, *У. Канава*²

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

² Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, Japan

В Москве и Звенигороде проводится регистрация спектров рассеянного солнечного излучения в ультрафиолетовой и видимой областях спектра. В работе рассматривается новый метод восстановления интегрального содержания формальдегида в тропосфере по измерениям в диапазоне 330–380 нм, который может быть применим как в облачных, так и в безоблачных условиях.

Формальдегид является короткоживущим продуктом окисления летучих органических соединений и тесно связан с их природными и антропогенными источниками. Формальдегид играет большую роль в химии тропосферного озона, поэтому мониторинг ИС формальдегида является важной составляющей контроля качества воздуха. Ранее авторы разработали метод восстановления интегрального содержания формальдегида по наблюдениям в безоблачных условиях [1].

Восстановление содержания НСНО в наклонном столбе атмосферы проводится с помощью методики DOAS. Для пересчета наклонных содержаний примесей в вертикальные распределения используются факторы воздушной массы, рассчитанные по модели МСС++ [2]. Информация о метеорологических условиях наблюдений привлекалась из архива метеоданных станций Мосэкомониторинга и метеорологических сводок о фактической погоде в аэропорту Внуково. Из спектров, зарегистрированных прибором японского производства JAMSTEC MAX-DOAS на станции в Звенигороде, получены первые результаты измерений наклонных содержаний НСНО в различных метеоусловиях.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант 14-05-90012.

Литература

1. *Borovski A., Grechko E., Djola A., Elokhov A., Postylyakov O., Kanaya Y.* First measurements of formaldehyde integral content at Zvenigorod Scientific Station. Submitted to Int.J. of Remote Sensing.
2. *Постыляков О.В.* Модель переноса радиации в сферической атмосфере с расчетом послонных воздушных масс и некоторые ее приложения. Известия РАН, Физика атмосферы и океана, 2004, т. 40, №3, 314–329.

Многоточечная грозоопределительная система в Нижегородской области

А.А. Булатов, Ю.В. Шлюгаев, Ф.А. Кутерин
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В исследованиях электрической активности грозовых облаков значительную роль играют грозоопределительные системы — системы определения положения и характеристик молниевых вспышек на определенной территории. Наибольшую эффективность имеют многоточечные системы грозоопределения, обеспечивая большую точность и большую площадь покрытия.

В течение конвективного сезона 2014 года на территории Нижегородской области была развернута многоточечная грозоопределительная сеть. В качестве аппаратной платформы пунктов определения применены персональные компьютеры с установленными в них устройствами Bolttek StormTracker с дополнительной платой точного определения времени LTS/2, работающие под управлением ОС Linux. Программное обеспечение, используемое в составе грозоопределительной сети, разработано в ИПФ РАН с учётом требований к отказоустойчивости и скорости вычислений.

Информация о зарегистрированном излучении молниевых вспышек поступает в единую базу данных, функционирующую на базе MySQL-сервера, посредством SSH-туннеля через Internet. Полученные данные автоматически обрабатываются сервером, результаты решения задачи определения и характеристики молниевых разрядов заносятся в базу данных.

Для определения положения молниевых вспышек применяется комбинированный метод, сочетающий в себе разностно-дальномерный и триангуляционный методы. При определении разности времен прихода электромагнитного импульса, порожденного молнией, учитывается взаимная корреляция зарегистрированных электромагнитных полей.

Разработанная грозоопределительная система введена в эксплуатацию. За период с июня по август 2014 года определены положения зарегистрированных молниевых вспышек.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ №14.В25.11.0023 и при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, грант №13-05-12103.

Потоки метана в тундровых экосистемах по модельным оценкам и данным наблюдений

М.М. Аржанов, С.Н. Денисов

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

Исследование эмиссии и поглощения атмосферного метана, а также процессов декомпозиции органического вещества в тундровых экосистемах является важной задачей при оценке вклада природных источников в глобальный углеродный цикл. Актуальность этой проблемы связана с ожидаемыми наиболее значительными климатическими изменениями в высокоширотных регионах Северного полушария. Для прогнозирования взаимного влияния изменений климата и природных экосистем этих регионов в будущем необходимы соответствующие математические модели, адекватно воспроизводящие динамику процессов эмиссии и поглощения метана в зависимости от условий термического и гидрологического режимов подстилающей поверхности и от параметров внешнего атмосферного воздействия. Детальное описание разработанной в ИФА РАН схемы эмиссий метана с учетом зависимости эмиссий от содержания углерода в почве [1] приведено в [2]. Верификация модели проводилась с использованием полученных в ходе экспедиционных работ данных о приземной концентрации метана, глубинах сезонного протаивания и влагосодержании почвы [3]. Предполагается, что каждый слой почвы может служить источником или стоком метана в зависимости от температурных и гидрологических условий. В случае, если влажность слоя почвы превышает $1/2$ величины насыщающей влагоемкости, этот слой является источником метана, в противном случае в слое происходит поглощение метана. Температурная зависимость микробиологической активности определяется индексом Q_{10} , характеризующим увеличение скорости переработки субстрата в метан бактериями при повышении температуры на 10°C . При отрицательной температуре считается, что эмиссии метана отсутствуют. На основе экспериментально полученных усредненных значений эмиссии метана были рассчитаны индекс Q_{10} и коэффициенты продуктивности слоев почвы a и b , второй из которых необходим для учета ускорения эмиссии в течение теплого периода в зависимости от числа градусо-дней, когда данный слой почвы не является замерзшим ($T > 0^{\circ}\text{C}$). Эти коэффициенты по расчетам составляют $Q_{10} = 1,9$, $a = 1,85 \text{ мг}/(\text{м}^2 \text{ сут})$, $b = 0,00015 \text{ мг}/(\text{м}^3 \text{ сут } ^{\circ}\text{C})$. Данные оценки несколько отличаются от аналогичных значений $Q_{10} = 2$, $a = 0,85 \text{ мг}/(\text{м}^2 \text{ сут})$, $b = 0,00075 \text{ мг}/(\text{м}^3 \text{ сут } ^{\circ}\text{C})$ [4], полученных для тундровых экосистем Аляски. Изменения связаны с генерализацией модели для адекватного воспроизведения эмиссии метана из более широкого спектра природных зон.

В разработанной схеме эмиссий метана в расчет включены только слои почвы вплоть до предельной глубины 1 м. Для схемы эмиссий метана, объединенной с моделью процессов тепло- и влагопереноса в почве также учитывается возможность проведения расчетов с предельной глубиной, равной глубине сезонного протаивания, что позволяет более адекватно определять эмиссии метана с учетом процессов сезонного промерзания/протаивания.

Полученные данные наблюдений [3] показывают, что сухие почвы тундры в весенний и осенний периоды являются источниками метана, однако в летний период экосистемы тундровых суходолов становятся стоком метана, при этом средний поток поглощаемого метана составляет $0,08 \text{ мг}/(\text{м}^2 \text{ ч})$. Модельные оценки региональной эмиссии метана из тундровых экосистем России составляют $1,7 \text{ Мт}/\text{год}$, что соответствует примерно 5 % от общего потока метана из болотных экосистем Северного полушария (севернее 35° с.ш.).

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ (12-05-01092, 12-05-91323, 13-05-00781, 13-05-12082, 14-05-00193, 14-05-93089, 14-05-00518), программ РАН, Министерства образования и науки, гранта Президента РФ НШ-5467.2012.5.

Литература

1. *Аржанов М.М., Мохов И.И.* Модельные оценки количества органического углерода, освобождаемого из многолетнемерзлых грунтов при сценариях глобального потепления в XXI веке // Доклады АН. 2014. Т. 455. № 3. С. 328–331.
2. *Денисов С.Н., Аржанов М.М., Елисеев А.В., Мохов И.И.* Чувствительность эмиссий метана болотными экосистемами Западной Сибири к изменениям климата: мультимодельные оценки // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 4. С. 319–322.
3. *Казанцев В.С., Заров Е.А., Лойко С.В., Аржанов М.М., Голубятников Л.Л., Денисов С.Н., Завалишин Н.Н.* Инструментальные измерения потоков метана и запасов органического вещества в тундровых экосистемах криолитозоны: сб. ст. XVII Всероссийской школы-конференции «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы», Нижний Новгород, 2013. С. 36.
4. *Christensen T.R., Cox P.* Response of methane emission from arctic tundra to climatic change: results from a model simulation // Tellus. 1995. V. 47B. № 3. P. 301–309.

Новая методика идентификации засева градовых облаков

М.В. Жарашуев

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Рассматриваются методика, алгоритмы и программы автоматизированной радиолокационной идентификации области восходящего потока конвективных ячеек в кучево-дождевых облаках, что обеспечивает возможность измерения параметров конвективных ячеек, построения графиков временного хода параметров, области на которые проводилось активное воздействие. Исследования показали что, область в облаке, где наблюдается нахождение максимальной отражаемости на высоте более 5 км, является областью будущего градообразования.

Используя метод автоматической идентификации конвективных ячеек, было проанализировано множество случаев воздействия на градовые процессы, развивавшиеся на территории Ставропольского края. Анализ этих процессов позволил выявить оптимальную формулу для автоматического выделения области засева. Область засева можно считать оптимальной при высоте максимальной отражаемости в столбе выше 5–5,5 км и отражаемости менее 20 dBz.

Литература

1. *Абшаев М.Т.* Новый метод воздействия на градовые процессы // Труды Всес. кон. по АВ на гидром. проц. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С. 118–126.
2. *Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Жарашуев М.В.* Автоматизированная радиолокационная идентификация, измерение параметров и классификация конвективных ячеек для целей защиты от града и штормооповещения. Гидрометеиздат – Москва, Метеорология и гидрология, № 3. 2010. С. 36–45.
3. *Абшаев М.Т.* Автоматизированные противоградовые комплексы // Труды конф. стран СНГ, Т. 5. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. С. 15–18.
4. *Абшаев М.Т.* Радиолокационное обнаружение града // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1982. Том 18, № 5. С. 483–494.
5. *Синькевич А.А., Краус Т.В., Гхулам А.С., Куров А.Б.* Исследование характеристик кучево-дождевых облаков большой мощности после воздействия с целью увеличения осадков // Метеорология и гидрология. 2013. № 9. С. 5–20.

Статистические исследования градовых процессов, развивающихся в Ставропольском крае в ночное время суток

М.В. Жарашуев

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Известно, что одним из главных условий перехода кучево-дождевых облаков в градовые является термическая конвекция в нижнем слое тропосферы [4]. Оптимальные условия для ее реализации создаются обычно в результате максимального прогрева подстилающей поверхности во второй половине дня, что и подтверждается большей повторяемостью выпадения града в интервале 13–20 ч. Значительно реже встречаются случаи развития мощной конвекции в ночные и утренние часы. Естественно, она не может быть результатом прогрева подстилающей поверхности. Между тем случаи выпадений града в это время суток — явление не столь уж редкое. Поэтому вполне понятен интерес к изучению механизма конвекции в ночные и утренние часы, так как она вносит основной вклад в развитие грозо-градовых процессов. Нами были обработаны данные радиолокационных наблюдений по Ставропольскому краю в период с 2002 по 2008 годы [2, 3]. Используя метод автоматической идентификации конвективных ячеек [1, 2], мы проанализировали, сколько процентов этих ячеек приходится на период времени с 20 до 13 часов, т. е. какова доля ночных процессов относительно наиболее градоопасного периода с 13 до 20 часов.

Проведенные исследования показали, что на Северном Кавказе наблюдается достаточно высокая доля числа ночных градовых процессов, причем эта доля зависит и от месяца года. Во время ночных процессов град отличается большими размерами и наносит большой ущерб народному хозяйству.

Литература

1. *Абшаев М.Т., Жарашуев М.В., Абшаев А.М., Малкарова А.М.* Автоматизированная радиолокационная идентификация, измерение параметров и классификация конвективных ячеек для целей защиты от града и штормоповещения. // Метеорология и гидрология. 2010. №3. С.36–45.
2. *Жарашуев М.В.* Статистический анализ радиолокационных характеристик мощных конвективных ячеек. // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Ростов-на-Дону, 2010. С. 58–65.
3. *Жарашуев М.В.* Автоматическая статистическая оценка суточного хода числа градовых ячеек на Северном Кавказе // Материалы X конференции молодых ученых. Нальчик, 2009. С. 114–118.
4. *Зверев А.С.* Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 711 с.
5. *Штудльман Н.Г., Штудльман Л. Г.* Исследование градовых процессов, развивающихся на северном Кавказе в ночное время суток // Тр. ВГИ. 1989. Вып. 72, С.130–136.

Статистический анализ метеоданных, полученных на территории Краснодарского края

З.М. Князева, Р.А. Гятов

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Метеорология имеет дело с огромными массивами наблюдений, которые нужно анализировать для выяснения закономерностей, существующих в атмосферных процессах. Поэтому в метеорологии широко применяются статистические методы анализа больших массивов наблюдений. Применение мощных современных статистических методов помогает яснее представить факты и лучше обнаружить связь между ними.

В данной работе приведен статистический анализ числа дней с грозой в году, полученный с использованием грозопеленгационной сети и метеостанциями.

По данным полученным, инструментальным путем на территории Краснодарского края за 4 года, был проведен статистический анализ. Определялись: среднее значение числа дней с грозой, среднеквадратичное отклонение, дисперсия, мода, асимметрия, эксцесс, минимальное и максимальное значения (таблица).

Таблица. Расчеты по данным инструментальных наблюдений и метеоданным на территории Краснодарского края по разделенным 19 площадям.

Стат. хар-ки	2009		2010		2011		2012	
	Гроз.	Мет.	Гроз.	Мет.	Гроз.	Мет.	Гроз.	Мет.
Объем выборки	19	19	19	19	19	19	19	19
Средн. знач.	61	34	41	36	43	32	54	38
Дисперсия	836	99,5	549	127	573	139	424	255
СКВО	29	9,9	23	11	24	12	21	16
Мода	30	26	31	30	52	33	34	37
Мин.	13	19	2	26	5	16	23	14
Макс.	122	56	86	70	84	66	86	77
Асимметрия	0,4	0,6	0,09	1,6	-0,04	0,05	0,3	0,4
Эксцесс	-0,7	-0,5	2,2	2,4	1,9	1,1	1,9	2,8

Из таблицы видно, что средние значения числа дней с грозой по данным грозорегистратора в пределах от 41 до 61. В среднем, за 4 года асимметрию можно считать малой, она равна 0,21. Средние значения превышают моду, откуда следует, что распределение частот положительно асимметрично. Эксцесс у нас приближается к нормали.

Также, по данным метеостанций, видно, что средние значения числа дней с грозой за четыре года составляет 35. Асимметрия оказалась исключительно большой в 2010 году. Средние значения незначительно превышают моду, то есть распределение частот положительно асимметрично. Экспесс приближается к нормали.

На рисунке 1 представлены графические распределения статистических характеристик из таблицы 1.

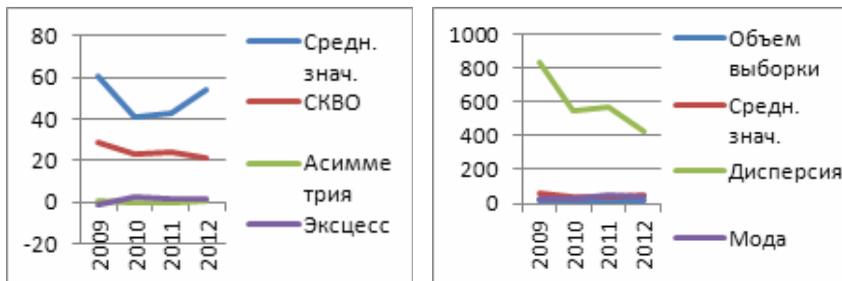


Рис. 1. Статистический анализ инструментальных данных на территории Краснодарского края по 19 площадям за 2009–2012 гг.

На рисунке 2 приведены распределения статистических характеристик по данным метеостанций Краснодарского края.

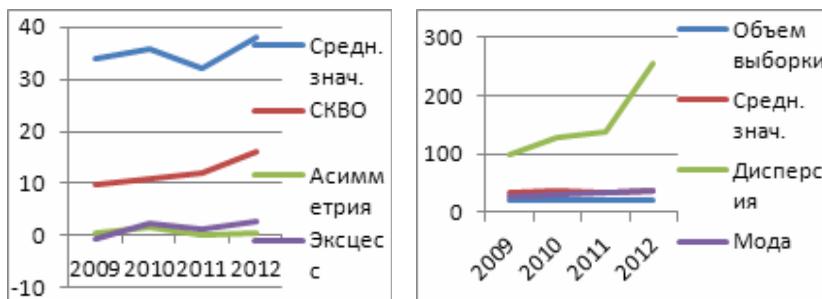


Рис. 2. Статистический анализ метеоданных Краснодарского края по 19 площадям за 2009–2012 гг.

Проведенный статистический анализ позволил выявить устойчивый рост грозовой активности на рассматриваемой территории. Продолжительность гроз в эти годы возрастала.

Литература

1. Главач Г.А. Молния и человек / Г.А. Главач, В.А. Курланов. Москва, 1972: 68с.
2. Мучник В.М. Физика грозы / Гидрометеиздат, 1974: 351 с.
3. Тудрий В.Д. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / Изд-во КГУ, 2007: 162 с.

Техногенные субмикронные аэрозоли в атмосфере

*А.Е. Солодина*¹, *А.А. Палей*²

¹ Московский физико-технический институт, Долгопрудный

² Институт прикладной геофизики, Москва

Рассматриваются основные источники техногенного загрязнения атмосферы аэрозольными частицами субмикронного размера (50–200 нм). Выполнена оценка влияния неоднородных электрических полей на движение субмикронных частиц в среде газового потока. Представлены схемы, реализующие методы очистки газового потока от субмикронных аэрозольных частиц путем использования энергии неоднородного электрического поля. Экспериментальные исследования, выполненные в лабораторных условиях, показали высокую эффективность использования предложенных схем для очистки газовых потоков от субмикронных аэрозолей.

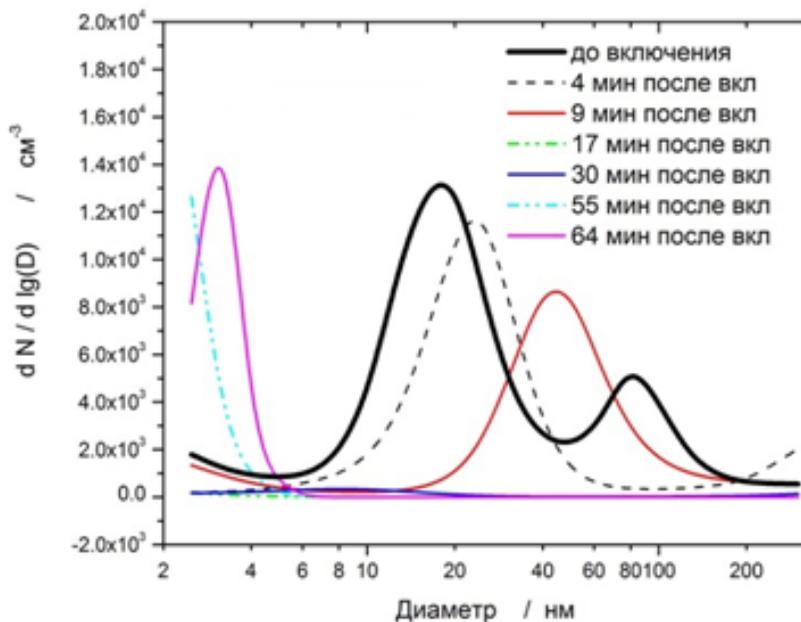


Рис. 1. Эволюция спектра аэрозольных частиц в воздухе в процессе воздействия неоднородного электрического поля.

Практически все частицы крупнее 15 нм исчезают за 10–15 мин. Примерно через час появляются частицы размером 3–5 нм, возможно, в результате каких-либо химических реакций.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Проект №14-08-00836

Литература

1. *Gerwig H. et al.* UFIPOLNET: Concentration of Particle Number Distributions at 4 Stations in Europe // mwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/UFIPOLNET_EAC07_gerwig_lecture.pdf
2. Толтыгин Л.И., Дубцов С.Н., Васильева М.А., Жохова Н.А., Лапшин В.Б., Сыроешкин А.В. Поступление наночастиц в окружающую среду при работе бытовых приборов. «Безопасность жизнедеятельности», №5 (149), М.: Новые технологии, 2013, С. 25–31.
3. Толтыгин Л.И., Дубцов С.Н., Васильева М.А., Жохова Н.А. О перспективах возможности очистки воздуха от аэрозольных частиц посредством неоднородного электрического поля. «Экология и промышленность России» (в печати).
4. Палей А.А. Фильтр очистки газового потока. Патент на изобретение №2503501 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели». М., 10.01. 2014, ФИПС, Бюл.№1.

Экспериментальные исследования факторов, определяющих электрическую структуру приземного слоя

О.П. Старостина, Г.Г. Петрова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

В работе продолжены многолетние натурные исследования закономерностей формирования электрической структуры приземного слоя. Измерительно-вычислительный комплекс, используемый в экспедициях последних лет, подробно описан в работе [1]. При систематизации вертикальных профилей поля в нижнем 4-метровом слое атмосферы учитывалась совокупность факторов, которые обычно принимаются во внимание при моделировании процессов в электродном слое. Контроль условий перемешивания осуществлялся через градиентные измерения температуры и скорости ветра, позволяющие рассчитывать параметр температурной стратификации и коэффициент турбулентности. Вариации интенсивности ионообразования отслеживались путём измерения в почвенном газе и атмосфере объёмной активности радона-222, который является основным источником ионизации атмосферы непосредственно вблизи земной поверхности. Концентрация аэрозолей измерялась в шести диапазонах диаметров частиц: 0,3–0,4; 0,4–0,5; 0,5–1,0; 1–2; 2–5 и > 5 микрон.

Анализ результатов наблюдений электрической структуры приземного слоя в летний период до высоты 4 метра позволяет обнаружить, что в условиях устойчивой температурной стратификации в атмосфере формируются слои отрицательного объёмного заряда. Из-за этого существенно снижается электрическое поле вблизи земной поверхности, имея в периоды с устойчивой стратификацией значения 20–40 В/м на уровне земли. Причиной образования отрицательного объёмного заряда является прохождение тока проводимости через слои с отрицательным градиентом электропроводности, который возникает в условиях ослабленного перемешивания из-за скопления вблизи земли поступающих из почвы радиоактивных эманаций, прежде всего радона-222. В целом с высотой в слое 0–4 м градиент потенциала в этой ситуации увеличивается. Оценка вертикального распределения поля при слабом перемешивании атмосферы за пределами 4-метрового слоя с помощью линейной экстраполяции данных эксперимента показывает, что значение поля 100 В/м в этих условиях для разных типов профиля поля достигается на высоте 5–10 м.

Литература

1. *Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В., Петров Н.А.* Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы // Известия высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. Науки. 2010. № 3. С. 47–52.

Диагностическое и прогностическое моделирование распределения малых газовых составляющих на территории Российской Федерации

М.В. Черепова, С.П. Смышляев

Российский государственный гидрометеорологический университет, С.-Петербург

Мезомасштабная модель создана на основании ранее существующей химико–климатической модели атмосферы, разработанной совместно Институтом вычислительной математики РАН и Российским государственным гидрометеорологическим университетом [1]. Модель позволяет рассчитывать пространственно-временную изменчивость газовых и аэрозольных концентраций в тропосфере и нижней стратосфере с учетом поверхностных эмиссий, химических трансформаций, сухого и влажного осаждения, реакций на аэрозолях, а также с учетом грозовой активности. Моделирование осуществляется на территории от 28°с.ш. до 80°с.ш. и от 8°з.д. до 180°в.д.; пространственное разрешение 0,5°×0,5°, по вертикали используется σ -система координат с 23 уровнями, простирающимися от поверхности до высоты около 8 гПа (примерно 30 км). Модель описывает различные реакции, в том числе реакции кислородного, водородного и азотного циклов и включает реакции с окисленными органическими соединениями, СО и некоторыми углеводородами. Моделирование может выполняться как в диагностическом, так и в прогностическом режиме, что объясняется оперативностью модели и репрезентативностью полученных данных. Оценка времени жизни малых газовых составляющих показала, что выбор химических компонент является обоснованным для данной модели.

Сравнение модельных расчетов концентраций моделируемых газов с измерениями и другими моделями показали, что модель достаточно точно воспроизводит пространственно-временное распределение концентраций, позволяя учитывать ряд процессов, являющихся подсчетными для глобальных моделей. При проведении экспериментов результаты моделирования показали возможность использование модели как в качестве химико-прогностической модели, так и в качестве химико-диагностической модели. Модель может работать в качестве оперативной модели на территории Российской Федерации.

Литература

1. *Галин В.Я., Смышляев С.П., Володин Е.М.* Совместная химико-климатическая модель атмосферы // Известия РАН. Сер. ФАО. 2007. Т.43, № 4. С. 437–452.

Оценки влияния дальнего переноса на приземное содержание CO, NO_x и O₃ по данным высотной мачты ZOTTO в центральной Сибири

Ю.А. Штабкин, К.Б. Моисеенко

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

В последнее время изменения состава приземного воздуха отмечаются не только вблизи промышленных центров, но и в удаленных от крупных городов районах земного шара. Мониторинг приземной атмосферы осуществляется мировыми сетями наблюдательных станций, к сожалению, не охватывающими территорию России. Частично решает эту проблему фоновая наблюдательная станция ZOTTO (ZOtino Tall TOWer, 60,26° с.ш., 89,24° в.д., Красноярский край).

В данной работе приведены результаты анализа данных наблюдений приземных концентраций CO, O₃ и NO_x на станции ZOTTO в период 2007–2012. На основе численного моделирования с помощью химико-транспортной модели GEOS-Chem проведена оценка влияния антропогенных выбросов и эмиссий от горения биомассы в западной Европе и различных регионах России на фоновый состав приземного воздуха в центральной Сибири. В соответствии с полученными результатами, можно утверждать, что наибольший вклад в содержание CO в приземном слое в холодный период в значительной степени обусловлено влиянием процессов переноса воздушных масс из Западной Европы, а также юга Европейской территории России и юга Сибири. В теплый период более существенное влияние оказывает перенос воздуха из восточных регионов, где основной вклад в эмиссии дают природные пожары. Данные результаты свидетельствуют о значительном влиянии как естественных, так и антропогенных региональных источников загрязнений, а также процессов переноса из Западной Европы и Европейской территории России на фоновый состав приземного воздуха в Центральной Сибири и необходимости учета данного фактора при анализе наблюдений на фоновой станции ZOTTO.

База данных среднеширотной Геофизической обсерватории «Борок» как информационный ресурс для исследований в области глобальной электрической цепи

С.В. Анисимов, К.В. Афиногенов, А.В. Гурьев, Э.М. Дмитриев
Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Базы данных непрерывных обсерваторских наблюдений являются важнейшей экспериментальной основой геофизических исследований. Природой процессов, протекающих в глобальной электрической цепи, обусловлена необходимость использования для их изучения комплексных баз данных непрерывных наблюдений, содержащих результаты измерений аэроэлектрических, аэрофизических, метеорологических и геофизических полей, формирующих электромагнитное окружение Земли. Одной из таких комплексных баз данных является база данных среднеширотной Геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН.

Обсерватория удалена от источников электромагнитных и аэрозольных загрязнений. Измерения производятся при низком уровне электромагнитного и сейсмического шума. В настоящее время обсерваторский измерительный комплекс обеспечивает как геомагнитные, так и аэрофизические измерения. Непрерывно регистрируются: атмосферный электрический ток (антенна «токовый коллектор») и электрическое поле (электростатический флюксметр); объемная активность радона и торона (радоновая станции «SRS-05»); вариации атмосферного давления (жидкостной микробарограф); поток солнечного излучения (пиранометр «СМР-3»); основные метеорологические параметры (метеостанция «WS-2500»); пульсации скорости ветра, температуры, давления и влажности (ультразвуковой метеоконкомплекс «Метео-2М»); вертикальный профиль трех компонент скорости ветра до высот ~800 м (доплеровский акустический локатор «Волна-3»).

Сбор данных наблюдений и пополнение базы данных в режиме приближенном к реальному времени осуществляется по локальной сети сбора данных. База данных является основой сетевого информационного ресурса, предназначенного для фундаментальных исследований аэроэлектрических процессов в глобальной электрической цепи (<http://geodata.borok.ru>). Веб-сайт базы данных содержит описания данных и графических изображений, а также формы интерфейса для запроса данных. Предоставляется свободный доступ к результатам измерений вариаций геомагнитного поля, атмосферного электрического поля и метеорологических параметров.

Работа по развитию измерительного комплекса, базы данных и информационного ресурса по направлению глобальной электрической цепи, аэроэлектричества и геомагнетизма ведется при поддержке РФФИ, (гранты № 12-05-00820, № 12-07-00575, № 13-05-12060) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

**ДИНАМИКА ФОТОХИМИЧЕСКИХ
И РАДИАЦИОННЫХ АТМОСФЕРНЫХ
ПРОЦЕССОВ.**

Систематические ошибки радиозатменного метода зондирования атмосферы

М.Е. Горбунов

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

Принцип радиозатменного зондирования заключается в просвечивании атмосферы сигналами спутниковых навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС). Сигналы, прошедшие через атмосферу, принимаются на низколетящем спутнике. Измеряемые амплитуды и фазы содержат интегральную информацию об индексе рефракции атмосферы вдоль луча. В приближении локальной сферической симметрии атмосферы восстанавливаются вертикальные профили атмосферного индекса рефракции. Применение дифракционных методов обработки сигналов обеспечивает высокое вертикальное разрешение получаемых профилей. Сравнение данных радиозатменного зондирования с данными анализов Европейского Центра среднесрочных прогнозов погоды показывает, что в тропосфере, особенно в тропиках, ниже 5 км имеется отрицательная систематическая ошибка восстановленных профилей индекса рефракции.

К настоящему времени выявлен ряд факторов, приводящих к отрицательной систематической ошибке. Слои сверхрефракции, возникающие в морском пограничном слое, делают решение обратной задачи неединственным, и применение стандартных алгоритмов обращения приводит к систематической отрицательной ошибке индекса рефракции, достигающей иногда 6 %. Сильные выбросы в профилях угла рефракции, также образующиеся в условиях сверхрефракции, трудно измерять. Это связано с тем, что такие выбросы соответствуют сигналам низкой амплитуды, сравнимой с уровнем шума, которые необходимо измерять существенно ниже лимба. Систематические потери таких сигналов также приводят к систематической отрицательной ошибке восстановленных углов рефракции, а, следовательно, и индекса рефракции. Горизонтальные градиенты индекса рефракции в атмосфере нарушают условия применимости приближения локальной сферической симметрии и также могут приводить к искажению и потере выбросов углов рефракции. Теоретически оценки и численное моделирование показали, что существует еще один, ранее неизвестный, фактор, приводящий к отрицательной систематической ошибке, – флуктуации полей показателя преломления.

В докладе будут приведены результаты глобального детализированного статистического анализа радиозатменных данных и их сравнения с анализами Европейского Центра среднесрочных прогнозов, а также данных численного моделирования.

Исследование фотохимических процессов, протекающих с участием частиц полярных мезосферных облаков

М.Ю. Куликов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Полярные мезосферные облака (ПМО) являются самыми высотными облаками в атмосфере Земли. Они формируются в летнее время на высотах области мезопаузы (80-90 км), когда температура воздуха опускается ниже 150К. Характеристики ПМО чувствительны к влиянию всех типов атмосферного переноса (в том числе, волнового), температуре, солнечной активности, антропогенному загрязнению атмосферы, вторжению энергичных частиц и другим атмосферным факторам. Поэтому данные облака считаются важными индикаторами глобальных атмосферных изменений. Несмотря на тот факт, что ПМО были открыты в конце 19 века, многие процессы их формирования и пространственно-временной эволюции остаются до сих пор плохо изученными, поскольку они формируются одинаково далеко как от наземных, так и от спутниковых инструментов зондирования атмосферы Земли. В частности, только совсем недавно было представлено первое подтверждение давней идеи Альфреда Вегенера (1912 г.), что частицы ПМО преимущественно состоят из льда и образуются в результате конденсации водяного пара.

В дневное время суток частицы ПМО подвергаются воздействию ультрафиолетового излучения с длиной волны 121,6 нм. Данные фотоны эффективно поглощаются внутренними слоями молекул H_2O , что приводит к их фотодиссоциации и образованию мобильных и химически активных компонент (H и OH). В результате внутри частиц облаков запускается целый спектр физико-химических процессов: диффузионное движение фотопродуктов внутри льда, их захват и накопление в матрице льда, образование вторичных продуктов, выход молекул новых веществ в газовую фазу.

В данной лекции представлен обзор методов и средств лабораторного и теоретического моделирования воздействия излучения на лед различного химического состава, а так же результаты недавних исследований фотохимических процессов с участием водяного льда в космосе и земной мезосфере.

Влияние распределения водяного пара в тропосфере на восстановление термической структуры средней атмосферы по данным наземного радиометрического зондирования

М.В. Беликович, Д.Н. Мухин, А.М. Фейгин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Термическая структура определяет динамику и фотохимический баланс средней атмосферы. В настоящее время ее измерения проводятся исключительно с помощью дистанционного зондирования. Наиболее популярны спутниковые системы, поскольку они обладают глобальным покрытием. Однако при исследовании пространственно локализованных процессов глобальное покрытие сопряжено с низким разрешением по времени. В свою очередь, наземные системы пассивного микроволнового зондирования могут обеспечивать высокое временное разрешение в отдельно взятом географическом пункте. Тем самым наземные системы предпочтительны для исследования быстрых локальных атмосферных процессов. В ИПФ РАН создан и запущен наземный радиометрический комплекс для комплексного исследования атмосферы, в том числе и мониторинга термической структуры стратосферы.

Предварительные оценки показали, что для используемого метода получения информации о термической структуре стратосферы важно иметь корректные данные о тропосферном водяном паре. Радиометрический комплекс был дополнен прибором HATPRO-G3 (производства Radiometer Physics GmbH), предназначенным для измерения тропосферных профилей температуры и водяного пара. Он измеряет яркостную температуру собственного излучения атмосферы в 14 спектральных каналах в диапазоне от 22 до 59 ГГц. Таким образом, возникла необходимость усовершенствования имеющихся алгоритмов восстановления.

В докладе представлены различные варианты усовершенствованной процедуры восстановления. Первый, наиболее тривиальный, способ модификации алгоритма — использование в исходном алгоритме измеренного профиля тропосферного водяного пара вместо модельного. Второй вариант — использование радиометрических данных (спектров яркостных температур собственного излучения атмосферы) вышеуказанных приборов в единой процедуре восстановления профилей температуры и тропосферного водяного пара. Такой подход позволяет наиболее корректно осуществить «сшивку» данных стратосферного и тропосферных приборов в районе тропопаузы. Оба варианта основаны на Байесовом подходе к решению некорректных обратных задач. Работа алгоритмов проиллюстрирована на симулированных и реальных данных, полученных в ИПФ РАН во время наблюдательной компании в первом квартале 2014 года.

Моделирование влияния солнечной активности на межгодовую изменчивость содержания озона и температуры атмосферы

А.К. Леммищенко, С.П. Смышляев

Российский государственный гидрометеорологический университет, С.-Петербург

Измерения Исследования Солнечной Радиации и Климата под руководством НАСА показали, что суммарное солнечное ультрафиолетовое излучение более изменчиво, чем изменение общей солнечной радиации.

Как долгосрочные, так и краткосрочные изменения солнечной активности предположительно влияют на климат земного шара, но определить прямую связь изменения солнечной активности с земным климатом очень сложно [1].

Для проведения исследования была использована химико-климатическая модель. Газовый состав рассматривался с помощью модели химического переноса, а температура и динамические характеристики — с помощью модели общей циркуляции.

Были проведены следующие эксперименты: динамический анализ концентрации озона и температуры за период 1979–2010 при изменяющейся солнечной активности (1 случай), при неизменной солнечной активности (2 случай), при влиянии солнечной активности только на химические процессы (3 случай) и только на нагрев атмосферы (4 случай).

В основном результаты моделирования соответствуют реальному распределению озона. Влияние солнечной активности на температуру незначительно, только изменение суммарной солнечной радиации косвенно влияет на температуру через нагрев атмосферы. Влияние солнечной активности на стратосферу больше, чем на тропосферу за счет большей концентрации озона. Так же на температуру оказывают воздействие концентрации аэрозолей.

В 21 веке прослеживаются некоторые изменения во временном распределении величин.

Литература

1. Solar Variation – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_variation.

Оптимизация метода восстановления профиля озона по данным радиометрических измерений

В.В. Перекатова, Д.Н. Мухин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Работа направлена на оптимизацию метода восстановления высотного распределения (профиля) озона по наземным измерениям собственного излучения атмосферы [1–2]. Связь данных измерений и искомого профиля задана интегральным соотношением, т. к. в принимаемый на Земле сигнал вносит вклад излучение атмосферы всего диапазона зондируемых высот. Отыскание профиля является некорректной обратной задачей, и успех ее решения определяется, в первую очередь, эффективностью регуляризации, т.е. учета априорной информации об атмосферном озоне, ограничивающей класс решений.

Разработана модификация метода статистической регуляризации, использующего ансамбль предыдущих измерений озона [3]. Предложенный метод включает в себя параметризацию решения, основанную на разложении искомого высотного профиля по базису эмпирических ортогональных функций, вычисленных по априорной статистике. Регуляризация задачи достигается при этом, во-первых, ограничением количества членов в разложении и, во-вторых, статистическими ограничениями на величины коэффициентов разложения. Предложен критерий оптимального числа оцениваемых коэффициентов, фактически определяющего размерность задачи. Возможности метода демонстрируются на модельных данных. Для восстановления профилей озона используются данные, симулирующие измерения собственного излучения атмосферы в линии поглощения озона мобильным озонометром, разработанным в ИПФ РАН [4]. В качестве априорной статистики используется ансамбль профилей озона, измеренных в окрестности Нижнего Новгорода в рамках спутниковой кампании MLS-AURA за период с 2004 года по 2013 год.

Литература

1. *Mukhin D.N., Feigin A.M., Molkov Ya.I., Suvorov E.V.* Bayesian approach to retrieval of vertical ozone profile from radiometry data // *Adv. Space Res.* 2006. V. 37, № 12. P. 2292–2298.
2. *Мольков Я.И., Мухин Д.Н., Суворов Е.В., Фейгин А. М.* Байесов подход к восстановлению вертикального распределения озона по данным радиометрических измерений // *Изв. вузов Радиофизика.* 2003. Т. 46, № 8–9. С. 752–763.
3. *Rodgers C.D.* Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation // *Reviews of Geophysics and Space Physics.* 1976. V.14, № 4. P. 609–624.
4. *Кропоткина Е.П., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г., Соломонов С.В.* Исследование пространственно-временного распределения стратосферного озона по наблюдениям на миллиметровых волнах в умеренных и высоких широтах // *Изв. вузов Радиофизика.* 2007. Т. 50, № 10–11. С. 954–960.

Анализ профиля 60-ГГц полосы поглощения кислорода: эксперимент и моделирование

*М.А. Кошелев, И.Н. Вилков, Д.С. Макаров, Е.А. Серов,
В.В. Паршин, М.Ю. Третьяков*

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В работе исследована полоса поглощения молекулярного кислорода вблизи 60 ГГц. Повышение точности моделирования атмосферного поглощения в этой полосе актуально для ряда прикладных задач, в том числе для дистанционного зондирования атмосферы и развития беспроводных телекоммуникационных систем.

Экспериментальные данные получены с помощью двух широкодиапазонных спектрометров разного принципа действия, перекрывающих разные диапазоны давлений. С помощью спектрометра с радиоакустическим детектированием сигнала поглощения (РАД) [1] каждая линия полосы исследована отдельно при давлениях до 10 мм рт. ст. в интервале температур 238–348 К. Уточнены значения коэффициентов уширения линий давлением и определены их температурные показатели в зависимости от вращательного состояния молекулы. Экспериментальные данные о профиле кислородной полосы в диапазоне давлений 75–1000 мм рт. ст. получены с помощью резонаторного спектрометра [1, 2] как в чистом кислороде, так и в воздухе. Основываясь на полученных экспериментальных данных, проведено моделирование профиля полосы с использованием эмпирических моделей, описанных в работе [3].

Полученные данные позволят повысить точность и надежность моделей атмосферного поглощения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ.

Литература

1. *Krupnov A.F., Tretyakov M.Yu., Belov S.P., Golubiatnikov G.Yu., Parshin V.V., Koshelev M.A., et al.* Accurate broadband rotational BWO-based spectroscopy // *J. Mol. Spectr.* 2012. V. 280, P. 110–118.
2. *Tretyakov M.Yu., Krupnov A.F., Koshelev M.A., Makarov D.S., Serov E.A., Parshin V.V.* Resonator spectrometer for precise broadband investigations of atmospheric absorption in discrete lines and water vapor related continuum in milli-meter wave range // *Rev. of Scientific Instr.* 2009. V. 80, 093106.
3. *Makarov D.S., Tretyakov M.Yu., Boulet C.* Line Mixing in the 60-GHz Atmospheric Oxygen Band: Comparison of the MPM and ECS Model // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer* 2013. V. 124, P. 1–10.

О влиянии стохастических интегральных обратных связей в энергобалансовых моделях климата на спектр флуктуаций осредненной глобальной температуры

Д.А. Петров

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Как показывают многочисленные публикации и монографии по проблемам климатологии и геофизики, моделирование климатической системы и исследование различных ее свойств является одной из самых актуальных и чрезвычайно трудных задач в этих областях. Цель моделирования заключается в изучении возможных изменений климата при вариациях различных параметров, от которых зависит его состояние, а также в теоретическом воспроизведении климатов прошлого, настоящего и будущего, как Земли, так и планет земной группы. При этом среди всевозможных изменений климатической системы наиболее «простым», как с точки зрения наблюдений, так и теоретического моделирования, является периодическое изменение ее состояний, проявляющееся в существовании многочисленных циклических процессов с разными периодами [1]. В связи с этим возникают вопросы, с одной стороны, о причинах и механизмах возникновения циклических процессов в климатической системе, а с другой, о влиянии на эти процессы внешних и внутренних факторов [2]. Решение этих вопросов составляет содержание отдельной подзадачи общей задачи моделирования климата.

Если рассматривать климатическую систему как многокомпонентную динамическую систему, то среди факторов, определяющих ее свойства и эволюцию, огромную роль играют обратные связи между ее компонентами. При этом часто для упрощения модели выражения для обратных связей параметризуют некоторой функцией. Однако, учитывая, что компоненты климатической системы обладают определенной «инертностью» при взаимодействии друг с другом, то в общем случае параметризация обратной связи должна представлять собой некоторый функционал [3], другими словами, должна учитывать эволюцию той или иной компоненты в предшествующие промежутки времени, т.е. своего рода «память» в системе. Кроме того, принимая во внимание, что характерные времена изменения компонент климатической системы являются разными, и могут отличаться на несколько порядков, то согласно концепции Хасельмана [2, 4, 5] быстро меняющиеся переменные можно аппроксимировать некоторым случайным процессом. Это приводит к тому, что параметризация обратных связей в общем случае будет представлять собой стохастический функционал.

В связи с этим представляет большой интерес задача о вычислении влияния стохастических функциональных обратных связей на свойства клима-

тической системы и, в частности, на причины возникновения климатических циклических процессов.

Наиболее просто данная задача решается для энергобалансовых моделей климата, в которых обратные связи можно аппроксимировать линейными стохастическими функционалами (линейные стохастические интегральные обратные связи), имеющими гауссову статистику. В качестве примеров рассмотрены две модели климата: 1) нульмерная энергобалансовая модель [1], основанная на уравнении баланса потоков солнечной радиации; 2) боксовая модель Дикинсона [1, 6], определяющая климат как взаимодействие атмосферы, верхнего квазиоднородного слоя океана, его глубинного слоя и потока солнечной радиации. И в первом и во втором случаях показано, что учет линейных стохастических интегральных обратных связей в приближении экспоненциальной функции памяти приводит при определенных соотношениях параметров к возникновению в спектре флуктуаций температуры выделенных частот, соответствующих определенным циклическим изменениям температуры, в то же время вариации параметров систем, нарушающие искомые соотношения, приводят к исчезновению этих частот. Эти результаты показывают, что функциональные обратные связи могут являться одним из механизмов образования циклических процессов в климате, и в то же время объяснять причины исчезновения некоторых из этих процессов через нарушения определенных соотношений между параметрами климатической системы вследствие их изменения.

Литература

1. *Каган Б.А.* Взаимодействие океана и атмосферы // Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992, 336 с.
2. *Полтараус Б.В., Кислов А.В.* Климатология // М.: Изд-во МГУ, 1986, 144 с.
3. *Вольтерра В.* Теория функционалов, интегральных и интегродифференциальных уравнений // М.: Наука, 1982, 304 с.
4. *Демченко П.Ф., Кислов А.В.* Стохастическая динамика природных объектов: Броуновское движение и геофизические примеры // М.: ГЕОС, 2010, 190 с.
5. *Hasselmann K.* Stochastic climate models. Part I. // *Tellus*, 1976, V. 28, № 6, P. 473–485.
6. *Dickinson R.E.* Convergence rate and stability of ocean-atmosphere coupling schemes with a zero dimensional climate model // *J. Atmos. Sci.*, 1981, V. 38, № 10, P. 2112–2120.

О применимости механизма RACM для численного моделирования химического состава воздуха Москвы в условиях устойчивой стратификации атмосферы

М.М. Хураמיшина

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

Город Москва с прилегающими к ее официальным границам застроенными территориями Московской области относится к крупнейшим мегаполисам мира, население которых превышает 12 миллионов человек. Здесь сконцентрированы источники тепла, загрязняющих примесей, парниковых газов, которые влияют на качество воздуха и региональный климат. Несмотря на то, что Московский мегаполис является самым северным мегаполисом мира, расположен на равнине и большую часть года проветривается, здесь регулярно возникают экстремальные экологические ситуации, при которых повышенное содержание в приземном воздухе загрязняющих и токсичных соединений оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье людей и состояние экосистем. Такие ситуации возникают в то время, когда над Московским регионом устанавливается малоподвижный блокирующий антициклон. Характерная для него солнечная, а летом и жаркая погода, усиливает эмиссию в атмосферу органических соединений, входящих в состав асфальта, автомобильного топлива, лаков, красок и др. материалов. Слабые ветра и мощные ночные температурные инверсии способствуют накоплению загрязнений в приземном слое атмосферы.

На Московской станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, расположенной на территории Метеообсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова на Воробьевых Горах, с 2002 г. ведутся непрерывные измерения большинства основных химически активных газовых примесей, включая от 15 до 18 летучих органических соединений. Полученные данные позволяют адаптировать к условиям Москвы и верифицировать фотохимические модели состава городской атмосферы и минимизировать погрешности численного моделирования, связанные прежде всего с отсутствием подробной информации об эмиссиях примесей. Цель настоящей работы заключалась в адаптации к экстремальным условиям лета 2010 г. фотохимической модели Стоквелла и определении концентрации тех важных для качества воздуха соединений в Москве, которые не контролировались действующей в Москве системой мониторинга.

Гибель озона и хлористого водорода на веществах твердого атмосферного аэрозоля

*Т.Б. Цыркина, Л.А. Обвинцева, Н.В. Козлова, И.П. Сухарева,
М.П. Дмитриева, А.К. Аветисов*
НИФХИ им. Л.Я. Карпова, Москва

Изучение гетерогенной гибели O_3 и HCl актуально в связи с задачей оценки их воздействия на элементы экосистем и выявлением роли гетерогенных реакций в атмосфере с участием аэрозолей. Гетерогенные реакции с участием HCl обычно рассматривают в связи с проблемой образования активного хлора в стратосфере [1]. Согласно [2] частицы пыли в приземном воздухе Сахары содержат большое количество хлора, причем до 65% хлора образуется за счет реакций на их поверхности, и, только 30–35% — составляющие морского аэрозоля.

Исследована гетерогенная гибель озона на чистых и обработанных HCl мелкодисперсных материалах: несколько видов песков, оксид железа, почве и угольной пыли. Эксперименты проводили при концентрациях на уровне содержания озона в атмосфере 15–125 ppb. Концентрацию озона измеряли сенсорным анализатором [3].

Определено количество поглощенного образцами озона в зависимости от условий: концентрация, толщина слоя. Определены значения кинетических параметров, характеризующих активность образцов к озону. Предварительная обработка HCl в большинстве случаев приводит к повышению эффективности поглощения озона образцами. Данные инфракрасной и электронной микроскопии могут свидетельствовать о структурных изменениях на поверхности песков после их обработки O_3 и HCl . Воздействие озона на поверхность песков, обработанных HCl , приводит к появлению в УФ спектрах указанных образцов полос, характерных для Cl (340 нм), ClO_2 (360 нм) и др. хлороксидных соединений (225–275 нм). Имеет место качественная корреляция между кинетическими данными, характеризующими активность материала по отношению к озону, и спектральными данными.

Работа была выполнена при поддержке РФФИ, проект 11-05-01209-а.

Литература

1. *Prakash Karamchandani, Yang Zhang, et. al.* Development of an extended chemical mechanism for global–through–urban applications // Atmospheric Pollution Research. 2012, V. 3. Issue 1. P. 1–24.
2. *Sullivan R.C. Guazzotti S.A, Sodeman D.A., et. al.* Mineral dust is a sink for chlorine in the marine boundary layer // Atmospheric Environment. 2007. V. 41, N. 34. P. 7166–7179.
3. *Беликов И.Б., Жерников К.В., Обвинцева Л.А., Шумский Р.А.* Анализатор газовых примесей атмосферы на основе полупроводниковых сенсоров // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 6. С. 139–140.

Взаимосвязь температуры поверхности океана с поглощённой солнечной радиацией на верхней границе атмосферы

М.Ю. Червяков, Ю.А. Скляр, А.И. Котума

Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского, Саратов

Осень 2014 года является пятилетним рубежом работы ИСЗ «Метеор-М» №1, выведенного на орбиту в сентябре 2009 года. На борту этого спутника установлен радиометр ИКОР-М, о работе которого сообщалось в печати [2]. ИКОР-М предназначен для измерения отражённой коротковолновой солнечной радиации, что позволяет определять альбедо и поглощённую солнечную радиацию (ASR) на верхней границе атмосферы.

ASR и её распределение по планете дают энергию, которая управляет нашей погодой и климатом. Годовой её цикл обусловлен эксцентricностью земной орбиты, а географическое распределение ASR соответствует годичному циклу солнечного склонения.

ASR зависит от альбедо — динамического показателя, величина которого, в основном, меняется из-за перемещения больших облачных систем. Снежный и ледовый покров также влияют на альбедо, создавая уменьшение потока поглощённой солнечной энергии. Температура суши, атмосферы и океана меняются в отклике на циклическое нагревание посредством ASR и вместе с облаками способствуют изменению потоков длинноволновой радиации на верхней границе атмосферы.

Географическое распределение потоков ASR и их временные вариации являются фундаментальными аспектами климата. Эти радиационные потоки создают температурные распределения, которые движут атмосферными и океаническими циркуляциями, приводящими к переносу энергии от низких широт в высокие [3].

Ещё в 70-х годах 20 века выдающийся отечественный учёный А.С. Монин в работе [1] говорил, что от потока тепла, каковым является инсоляция, к притоку тепла ведёт сложный механизм отражения, поглощения и переизлучения радиации, а на пути от притока тепла к температуре воздуха важнейшую роль играет мощное выравнивающее действие циркуляции атмосферы и океана. Тем не менее, между средней годовой зональной температурой и годичной инсоляцией обнаруживается прямая и логичная феноменологическая связь, так что, рассматривая инсоляцию, мы действительно оказываемся у самых истоков формирования климата [1].

В докладе будут приведены сопоставления зональных значений ASR и температуры поверхности океана (ТПО) для широтных зон океанов, взятых из работы [4]. Осреднения величин ASR производилось за все полные годы наблюдений (2010–2013 гг) для Мирового и отдельных океанов.

В качестве примера, представлено сопоставление зональных среднегодовых величин ASR за 2010 год с ТПО Тихого океана (рис. 1).

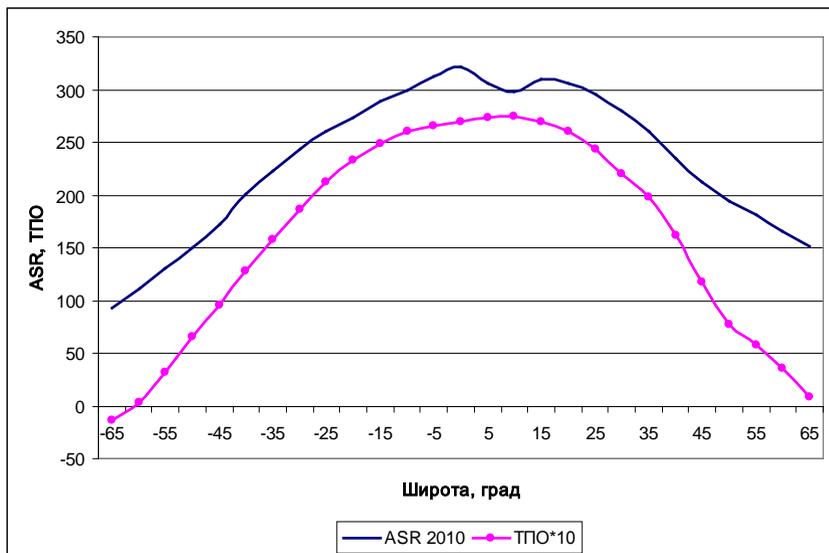


Рис. 1. Широтный ход ASR и ТПО для Тихого океана.

Для большей наглядности, графики широтного хода ASR и ТПО представлены на одном рисунке, причём шкала величин общая, для этого значения ТПО (на данном графике имеют размерность $^{\circ}\text{C}$) умножены искусственно на 10. Корреляции между рядами ASR и ТПО для всех океанов очень высоки и достигают 0,98.

В докладе будут представлены результаты для всех океанов по отдельности, а также для Мирового океана в целом. Также будут сообщены некоторые результаты пятилетней работы радиометра ИКОР-М.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части (код проекта 2179).

Литература

1. Монин А.С. Вращение Земли и климат. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 112с
2. Складов Ю.А., Червяков М.Ю. и др. Особенности распределения поглощённой солнечной радиации в 2010 – 2012 годах по данным с ИСЗ «Метеор – М» №1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 272-283.
3. Mlynczak P.E., Smith G. L., Doelling D.R. The Annual Cycle of Earth Radiation Budget from Clouds and the Earth's Radiant Energy System Data // J. of Applied Meteorology and Climatology. 2011. V. 50. N. 12. P. 2490-2503.
4. Wüst G., Brogmus W., Noodt, E. Kieler Meeresforsch. 10, 137–161 (1954).

Решение уравнения переноса излучения для стратифицированной модели плоского слоя мутной среды квазидвухпоточковым методом

В.П. Будаков, О.В. Шагалов

НИУ «Московский энергетический институт», Москва

На сегодняшний день существует большое количество научных и прикладных задач, которые сводятся к решению уравнения переноса излучения (УПИ). Среди них можно выделить два направления, как наиболее интересные и актуальные. Первое связано с компьютерным моделированием трехмерных сцен – компьютерной графикой. Нетрудно заметить, что математические модели отражения света в этой области далеки от совершенства – при потрясающей реалистичности трехмерных объектов и моделей освещения мы никогда не спутаем компьютерную графику с фотографией, не говоря уже о трехмерной анимации.

Вторая группа задач относится к дистанционному зондированию Земли из космоса, в особенности с целью получения глобальной картины распределения малых газовых компонентов атмосферы, вносящих вклад в парниковый эффект. В этой области в настоящее время требования к математическим моделям диктуются гиперспектральными системами, которые производят измерения на десятках тысяч длин волн. Поскольку обработку спутниковых данных в таких задачах требуется производить практически в реальном времени, требования по скорости к математическим моделям очень жесткие. При этом для построения глобальной модели распределения, например, углекислого газа точность вычисления также должна быть очень высокой. Ситуация такова, что с точки зрения гиперспектральных приборов об эффективности алгоритма можно говорить, если на вычисления для одной длины волны с точностью не хуже одного процента тратится не более одной секунды. На сегодняшний день господствуют стратифицированные модели плоского слоя на основе матрично-операторного метода (МОМ). Поэтому даже если алгоритм выполняет условия по точности и скорости для однородного слоя, то с ростом их количества линейно растет и время счета. Существующие алгоритмы не удовлетворяют требованиям гиперспектральных систем, а потому нуждаются в глубокой модернизации.

В нашей работе мы предлагаем решение для стратифицированного плоского слоя мутной среды без использования МОМ, а на основе матрицанта дискретного уравнения переноса излучения с использованием наибоыстрейшего метода решения УПИ – двухпоточкового приближения.

Поскольку чаще всего для указанных задач нас интересует численная реализация, то все изложение в работе ведется для дискретного УПИ.

Физической основой теории переноса излучения является лучевое приближение, неизбежно порождающее пространственно-угловые особенности в распределении яркости. Для решения этой проблемы был предложен следующий подход, ставший классическим: представлять решение в виде суммы анизотропной части и регулярной добавки. Анизотропная часть содержит все особенности решения и находится аналитически. Регулярная часть представляет собой относительно гладкую функцию и может быть найдена численно.

После выделения анизотропной части и дискретизации УПИ принимает форму матричного неоднородного дифференциального уравнения, которое имеет единственное решение. Это решение может быть представлено двумя способами. Первый – представление через матрицу рассеивателей, содержащую коэффициенты яркости слоя по отражению и пропусканию, и выражающий выходящие из слоя потоки через падающие. Решение обладает свойством инвариантности, а потому для многослойной модели можно воспользоваться МОМ. Однако, в этом случае происходит большая потеря скорости и точности в виду того, что приходится много раз обращать матрицы.

Второй способ представления решения – через матрицу-пропагатор, которая описывает распространение излучения с одной границы слоя до другой. Пропагатор многослойной системы представляет собой последовательное произведение пропагаторов каждого из слоев, что позволяет найти пропагатор сразу всей модели и не терять скорости и точности на нахождении обратных матриц. Однако, в случае дискретного УПИ связь для пропагатора нарушается и требуется использование матрицанта. Сложность заключается в том, что матричное произведение не коммутирует, и матрицант можно построить не всегда, но в нашем случае это возможно.

В работе показано, что оба подхода являются абсолютно эквивалентными и однозначно связаны, однако, в случае многослойных сред лучше подходит решение через пропагатор. Также показана связь обоих подходов с инвариантным погружением Амбарцумяна.

В качестве решения для однородного слоя предлагается использовать квазидвухпотокное приближение. Анизотропная часть находится в малоугловой модификации метода сферических гармоник, который является лучшим методом для этой цели. Решение гладкой части разбивается на два этапа. На первом этапе используется приближенный метод, которым важно точно учесть энергетику, а на втором берется итерация от полного решения для уточнения углового распределения. В качестве приближенного метода предлагается использовать двухпотокное приближение, быстрее которого решать УПИ принципиально невозможно.

Использование матрицанта дискретного УПИ многослойной системы в сочетании с квазидвухпотковым методом позволяет увеличить скорость вычисления в количество слоев раз без потери точности, а также открывает пути построения обратного оператора.

**ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
В НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЕ И ФОРМИРОВАНИЕ
ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

Электричество приземного слоя атмосферы

Э.М. Дмитриев, С.В. Анисимов

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

В последние годы установлена важная роль атмосферного пограничного слоя, как одного из основных элементов глобальной электрической цепи. При этом в областях «хорошей погоды» электрические характеристики всего атмосферного пограничного определяются, прежде всего, влиянием земной поверхности. На динамику и распределение зарядов в пограничном слое атмосферы непосредственно воздействует перенос положительного объемного заряда, образующегося в приземном слое атмосферы благодаря электродному эффекту. Изучение электричества приземного слоя атмосферы необходимо как для понимания функционирования глобальной электрической цепи, так и для выявления в данных наземных натуральных аэроэлектрических наблюдений влияния глобальных, региональных и локальных аэроэлектрических явлений и процессов.

В докладе показано влияние на электрические характеристики приземного слоя состояния атмосферы. Представлены результаты численного моделирования квазистационарного электрического состояния приземного слоя по данным обсерваторских наземных аэроэлектрических и аэрофизических наблюдений. Продемонстрировано воздействие на электрические характеристики приземного слоя сильного и слабого турбулентного перемешивания, аэрозолей, радиоактивных эманаций с земной поверхности. Рассмотрен нестационарный приземный слой и показано, что характерные времена установления стационарного электрического состояния приземного слоя, как правило, не превышают характерных времен атмосферных процессов. Показана взаимосвязь электродного эффекта и электричества планетарного пограничного слоя. Представлены модели электричества пограничного слоя, учитывающие воздействие электродного эффекта.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, (гранты № 12-05-00820, № 12-07-00575, № 13-05-12060).

УКВ радиоизлучение от грозовых разрядов, регистрируемое микроспутником «Чибис-М»

М.С. Долгоносов, В.М. Готлиб, Д.И. Вавилов, Л.М. Зелёный

Институт космических исследований РАН, Москва

Относительно недавно были открыты новые физические явления, протекающие в верхней атмосфере Земли и регистрируемые радиоприёмниками УКВ диапазона [1, 2]. Как было показано первыми исследователями [1], спектр сигнала и его амплитуда значительно отличаются от ранее известных радиоисточников в тропосфере, таких как ступенчатый лидер и последующий обратный удар молнии «обычных» молниевых разрядов. Характерная длительность открытых радиоимпульсов было от нескольких микросекунд (и меньше) до десятков микросекунд [1, 3, 4] с широкополосным излучением в диапазоне от 10 до 50 МГц. Из-за свой формы сигнала часть исследователей стала называть такого рода явления как узкие биполярные импульсы (Narrow Bipolar Pulses — NBP). Последующие запуски космических аппаратов ALEXIS и FORTE помогли составить карту распределения событий по поверхности планеты и ответить на вопрос на сколько NBP связаны с обычными молниями [5–7]. Авторы постулировали, что NBP связаны с обычными молниями, но обособлены от них (в пространстве и по времени). В дополнении, авторами было показано, что радиоимпульсы в большинстве случаев регистрируются парами, что в свою очередь связано с отражением радиоизлучения от поверхности Земли. На основании последнего утверждения авторам удалось оценить высоту NBP над уровнем моря в 7–8 км (максимальная составила 12 км). В ряде последних научных работах даются оценки пространственных размеров структур, которые могли бы излучать такого рода радиоимпульсы [8–10]. Показано, что их длина не может превышать одного километра, и для ряда случаев составляет 200–300 м. Поэтому более обоснованным на наш взгляд кажется другое название таких явлений, а именно: компактные межоблачные разряды.

В настоящем докладе мы планируем предоставить статистический анализ характерных свойств компактных межоблачных разрядов, их распределение по поверхности Земли, полученное комплексом приборов на борту микроспутника «Чибис-М», а также будут предложены модели, описывающие генерацию такого рода радиовсплесков.

Литература

1. *Le Vine D.M.* Sources of the strongest RF radiation from lightning. // *J. Geophys. Res.* 1980. Т. 85. № С7. Ст. 4091.
2. *Weidman C.D., Krider E.P., Uman M.A.* Lightning amplitude spectra in the interval from 100 kHz to 20 MHz. // *Geophys. Res. Lett.* 1981. Т. 8. № 8. Ст. 931.

3. *Villanueva Y. u др.* Microsecond-scale electric field pulses in cloud lightning discharges. // J. Geophys. Res. 1994. T. 99. № D7. Ст. 14353.
4. *Eack K.B.* Electrical characteristics of narrow bipolar events. // Geophys. Res. Lett. 2004. T. 31. № 20. Ст. L20102.
5. *Holden D.N., Munson C.P., Devenport J.C.* Satellite observations of transionospheric pulse pairs. // Geophys. Res. Lett. 1995. T. 22. № 8. Ст. 889–892.
6. *Massey R.S., Holden D.N.* Phenomenology of transionospheric pulse pairs. // Radio Sci. 1995. T. 30. № 5. Ст. 1645–1659.
7. *Smith D.A. u др.* A distinct class of isolated intracloud lightning discharges and their associated radio emissions. // J. Geophys. Res. 1999. T. 104. № D4. Ст. 4189.
8. *Nag A., DeCarlo B.A., Rakov V.A.* Analysis of microsecond- and submicrosecond-scale electric field pulses produced by cloud and ground lightning discharges. // Atmos. Res. v. 91, iss. 2–4, p. 316–325. 2009.
9. *Nag A., Rakov V.A.* Compact intracloud lightning discharges: 1. Mechanism of electromagnetic radiation and modeling. // J. Geophys. Res. 2010. T. 115. № D20. Ст. D20102.
10. *Watson S.S., Marshall T.C.* Current propagation model for a narrow bipolar pulse. // Geophys. Res. Lett. 2007. T. 34. № 4. Ст. L04816.

Электрические разряды и химия атмосферы

А.А. Евтушенко

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Большой интерес к моделированию воздействия атмосферных разрядов на химический состав вызван развитием климатических моделей и разработкой микрофизических моделей атмосферных разрядов. Условно все разнообразие разрядов в атмосфере можно разделить на тропосферные (облако-земля и внутриоблачные), стратосферные (голубые стартеры и джеты, гигантские джеты), мезосферные (спрайты, гало, эльфы) [1].

Вопрос о влиянии тропосферных молниевых разрядов на химический состав исследуется уже несколько десятилетий. Основное внимание уделяется образованию оксидов азота, так как они способствуют образованию озона при окислении окиси углерода, метана и углеводов. Несмотря на свою высокую химическую активность, окислы азота («нечетный азот», объединяющий все химически активные азотосодержащие газы) имеют достаточно большое время жизни в тропосфере и участвуют в процессах перемешивания и переноса, тем самым заметно влияют на климат [2]. Описание физических процессов развития стримеров, формирования лидера молнии и ультрабыстрого нагрева молниевых каналов в тропосфере также возможно лишь с учетом детального изучения химических процессов в области разряда [3, 4].

Высотные разряды были открыты сравнительно недавно и сразу поставили вопрос о своем влиянии на химический состав мезосферы. Особенно актуальным этот вопрос является для джетов, гигантских джетов и спрайтов, так как для их инициации необходимы значительные электрические поля, при этом линейные размеры разрядов достигают десятков километров.

Джеты — это разряды, стартующие с верхней кромки облака и достигающие высот 45–50 км, гигантские джеты могут достигать 70 км, стартеры распространяются только до 20–25 км. В стратосфере, в отличие от тропосферы, окислы азота играют противоположную роль — способствуют разрушению озона [5]. Таким образом, в нижней части джет способствует накоплению озона, а в средней части — его разрушению.

Спрайты занимают диапазон высот от 50 до 90 км, а горизонтальные размеры достигают нескольких десятков километров. Таким образом, это самые объемные разряды в атмосфере. Как показывают исследования, спрайты вызывают существенное возмущение концентраций ионов, электронов, а, следовательно, и проводимости [6, 7]. Достаточно активно обсуждается вопрос накопления оксидов азота, имеющих большое значение для поддержания ночной проводимости мезосферы.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.В25.31.0023).

Литература

1. *Rakov V.A., Uman M.A.* Lightning. Physics and effects. – Cambridge University Press, 2003. 680 p.
2. *Смышляев С.П., Мареев Е.А., Галин В.Я.* Моделирование влияния грозовой активности на газовый состав атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46, № 4. С. 487–504.
3. *Aleksandrov N. L., Kindysheva S.V., Nudnova M.M., Starikovskiy A.Yu.* Mechanism of ultra-fast heating in a non-equilibrium weakly ionized air discharge plasma in high electric fields // J. Phys. D: Appl. Phys. 2010. V. 43. P. 255201.
4. *Popov N.A.* Fast gas heating in a nitrogen–oxygen discharge plasma: I. Kinetic mechanism // J. Phys. D: Appl. Phys. 2011. V.44. P. 285201.
5. *Mishin E.* Ozone layer perturbation by a single blue jet // Geophys. Res. Lett. 1997. V. 24, № 15. P. 1919–1922.
6. *Евтушенко А.А., Кутерин Ф.А.* Одномерная самосогласованная модель влияния спрайга/гало на химию мезосферы // Изв. ВУЗов – Радиофизика. 2013. Т. 56, № 11-12. С. 947–967.
7. *Evtushenko A.A., Kuterin F.A., Mareev E.A.* A model of sprite influence on the chemical balance of mesosphere // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 2013. V. 102. P. 298–310.

Аналитические результаты теории классического электродного эффекта в атмосфере

А.В. Калинин^{1,2}

¹ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Электродный эффект в атмосфере Земли определяется сложным комплексом факторов [1–3], и изучение соответствующих моделей возможно лишь с привлечением вычислительных средств [3, 4]. Однако представляет несомненный интерес возможность аналитического исследования упрощенных моделей [5].

В настоящем докладе обсуждаются известные аналитические результаты теории классического электродного эффекта [6, 7] и ряда других авторов, приводятся новые аналитические результаты теории классического электродного эффекта, опирающиеся на результаты работы [8].

Работа выполнена при поддержке гранта (согл. от 27 августа 2013 г. №02.В.49.21.0003 между МОН РФ и ННГУ), гранта Правительства РФ (договор №11.G34.31.0048), Минобрнауки РФ в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности в 2014–2016 г.г. (код проекта 1727).

Литература

1. *Israelsson S., Knudsen E., Anisimov S.V.* Vertical profiles of electrical conductivity in the lowermost part of the turbulent boundary layer over flat ground // *J. Atmosph. Terr. Phys.* 1994. V. 56, N 12. P.1545–1550.
2. *Mareev E.A., Israelsson S., Knudsen E., Kalinin A.V., Novozhenov M.M.* Studies of an artificially generated electrode effect at ground level // *Ann. Geophysicae.* 1996. V. 14. P.1095–1101.
3. *Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М.* Теория электродного эффекта в атмосфере. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. 1998. – 123 с.
4. *Hoppel W.A.* Theory of electrode effect // *J. of Atmospheric and Terrestrial Phys.* 1967. V. 29. P. 709–721.
5. *Дмитриев Э.М., Филиппов В.А.* Аналитическое решение задачи классического электродного эффекта в приземной атмосфере // *Геофиз. иссл.* 2010. Т. 11. № 4. С. 53–59.
6. *Thompson J.A.* Conduction of electricity through gases. – Cambridge. 1903. – 566 p.
7. *Schweidler E.R.* Über die Ionenverteilung in den untersten Schichten der Atmosphäre // *Sits. Akad. der Wiss. math. naturw. Klasse.* 1908 Bd. 117. Abt. Iia. S. 653–664.
8. *Калинин А.В., Григорьев Е.Е., Жидков А.А., Терентьев А.М.* Электродинамическая модель конвективно-турбулентного приземного слоя атмосферы // *Изв. вузов. Радиофизика.* 2013. Т.56. №11–12. С.829–852.

Физика молнии: новые результаты и нерешенные проблемы

Е.А. Мареев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Лекция посвящена обзору достижений в области физики молнии за последние несколько лет и вопросов, до сих пор остающихся нерешенными. Основное внимание уделено проблемам инициации молнии и стримернолидерным процессам.

В качестве введения приведена краткая классификация основных видов электрических разрядов в атмосфере, их физических параметров, статистики и условий генерации.

Среди результатов и проблем, которые рассматриваются в данном обзоре, можно выделить:

- Проблемы динамики отрицательного ступенчатого лидера и наблюдения формирования ступеней в экспериментах с триггерной молнией.
- Рентгеновское и гамма излучение, коррелирующее с молниевыми разрядами. Мощные вспышки радиоизлучения, обусловленные грозовой активностью. Компактные внутриоблачные разряды (CIDs) [1].
- Наблюдения облачных разрядов, в том числе инициируемых ракетой с помощью системы LMA [1].
- Молнии с экстремальными параметрами и их связь с наиболее интенсивными метеорологическими явлениями и лесными пожарами.

Особое внимание уделено лабораторным высоковольтным экспериментам, направленным на изучение физики искрового разряда и совершенствование методов молниезащиты [2]. За последние два года были разработаны диагностические инструменты для изучения длинной искры и искусственного заряженного аэрозольного облака, включая системы наблюдения в радио, СВЧ и ИК диапазонах. Проведены эксперименты с использованием уникального оборудования Высоковольтного научно-исследовательского центра (Истра) Всероссийского электротехнического института [3].

Одним из наиболее интересных результатов, полученных в экспериментах с заряженным аэрозольным облаком с использованием описанного экспериментального комплекса, является регистрация внутриоблачных разрядов с помощью ИК-камеры, в том числе протяженных и компактных плазменных образований (авторы назвали их сталкерами) с параметрами плазмы, которые отличают их как от стримеров, так и от лидеров [3]. Сталкеры наблюдались в облаках и положительной, и отрицательной полярности. Они фиксировались одновременно с помощью скоростной ИК-камеры (диапазон 3,8–4,9 мкм), диагностического микроволнового излучения (длина волны

8 мм), скоростных камер и ФЭУ видимого диапазона с интерференционными фильтрами.

Также в лекции кратко рассмотрены теоретические проблемы первостепенной важности, требующие проработки в ближайшем будущем:

- исследование стримеров высокого давления, моделирование развития стримера в неоднородном поле;
- построение самосогласованной теории лидера с учетом лидерного чехла;
- разработка теории сталкеров — нового вида внутриоблачных разрядов;
- разработка теории главной стадии молнии, включая исследование динамики преобразования канала лидера на стадии возвратного удара с учетом его неоднородной структуры, и оценки диссипации энергии, идущей на нагрев и излучение в разных диапазонах;
- выяснение условий реализации ионизационно-перегревной, или тепловой, неустойчивости (ИПН, англ.: thermalization instability). Исследование особенностей ИПН подразумевает при этом: выявление основных процессов, определяющих быстрый нагрев/ионизацию; описание нагретых ионизованных нелинейных структур, являющихся результатом развития ИПН; оценки эффектов (излучение, химия и т.д.), по которым можно проводить диагностику рассматриваемых процессов в тех или иных условиях; сопоставление с доступными экспериментальными данными; формулировку дополнительных предложений по диагностике.

Более детальный обзор некоторых актуальных проблем физики молнии можно найти также в [4], а сведения о последних результатах — в [1, 2].

Благодарности. Настоящая работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.B25.31.0023).

Литература

1. Proc. XV Int. Conf. on Atmospheric Electricity, 15–20 June, Norman, Oklahoma, USA.
2. IV международная конференция по молниезащите. Санкт-Петербург, 27–29 мая 2014 года: сборник докладов. СПб.Ж Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 417 с.
3. Andreev M.G., Bogatov N.A., Kostinskiy A.Yu., Makal'sky L.M., Mareev E.A., Sukharevsky D.I., Syssoev V.S. First Detailed Observations of Discharges within the Artificial Charged Aerosol Cloud // Proc. XV Int. Conf. on Atmospheric Electricity, 15–20 June, Norman, Oklahoma, USA.
4. Rakov V.A. The physics of lightning // Surv. Geophys. 2013. V. 34. № 6. P. 701–729.

Стохастическое моделирование турбулентной электродинамики пограничного слоя атмосферы

С.В. Галиченко, С.В. Анисимов

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Электродинамические процессы в атмосферном пограничном слое (АПС) занимают особое положение в исследованиях физики взаимодействия литосферы и атмосферы, одновременно представляя собой важное звено в моделях глобальной электрической цепи. Электрическая структура АПС определяется многообразием физических процессов в широком диапазоне пространственно-временных масштабов от ионизации молекул и межчастичных взаимодействий в многокомпонентной слабоионизированной турбулентной среде до формирования ионосферного потенциала грозowymi генераторами и квазистатическими токами электрифицированных облаков. Электрические поля объемных зарядов, образующихся вследствие неоднородностей электрической проводимости и влияния проводящей земной поверхности, сравнимы с электрическим полем внешних по отношению к АПС источников. Конвективный АПС — электродинамически активная среда, где, наряду с диссипативным протеканием тока проводимости, действует конвективная ЭДС, осуществляя турбулентный перенос объемного заряда и генерируя электрический ток, не согласованный с направлением напряженности глобального электрического поля атмосферы [1–4].

Создана стохастическая модель электродинамики горизонтально однородного конвективного АПС, учитывающая энергетические и термодинамические характеристики АПС, ионизационный вклад радиоактивных эманацій грунта, формирование и электризацию мультидисперсного аэрозоля, турбулентный транспорт субстанций. С высоким пространственно-временным разрешением рассчитаны высотные профили скорости ионообразования, концентраций легких аэроионов, электрической проводимости, плотности объемного заряда, напряженности электрического поля, плотности токов проводимости и механического переноса в эволюционирующем АПС.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, (гранты № 12-05-00820, № 13-05-12060) и гранта Правительства РФ (договор № 11.G34.31.0048).

Литература

1. *Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М.* Формирование электрически активных слоёв атмосферы с температурной инверсией // Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 4. С. 442–452.
2. *Anisimov S.V., Galichenko S.V., Shikhova N.M.* Space charge and aroelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study // Atmos. Res. 2014. V. 135. P. 244–254.
3. *Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M., Shatalina M.V., Galichenko S.V., Zilitinkevich S.S.* Aeroelectric Structures and Turbulence in Atmospheric Boundary Layer // Nonlinear Processes in Geophysics. 2014. V. 21. P. 819–824.
4. *Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В.* Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. № 4. С. 445–454.

Наблюдения вариаций электрической проводимости приземного слоя атмосферы

К.В. Афиногенов, С.В. Анисимов

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

В летние сезоны на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 38 °14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех проводятся натурные полевые наблюдения аэро-электрических характеристик приземного слоя атмосферы. Цель работы заключается в изучении электродинамики нижней атмосферы и исследовании турбулентных аэроэлектрических структур [1]. Полевой измерительный комплекс включает электростатические флюксометры (типа field mill), ультразвуковые цифровые метеостанции, счетчики концентрации легких атмосферных ионов, токовый коллектор, пиранометр, датчик концентрации радона-222 и радона-220 (торона). Данные регистрируются цифровой автоматизированной системой сбора информации с частотой дискретизации 10 Гц.

В ходе полевых натуральных наблюдений получены суточные хода концентраций легких атмосферных ионов, плотности объемного заряда и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы.

Показано наличие корреляций напряженности атмосферного электрического поля и плотности вертикального атмосферного электрического тока с вариациями концентраций легких атмосферных ионов, плотности объемного заряда и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы.

Показана взаимосвязь суточных ходов вариаций объемной активности радона-222 и удельной электрической проводимости приземного слоя атмосферы.

Проведено одновременное наблюдение вариаций концентраций легких аэроионов в приземном слое атмосферы на высотах 60 см и 150 см от поверхности земли.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, (гранты № 12-05-00820, № 13-05-12060) и Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН №7.

Литература

1. Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Шихова Н.М. Динамика электричества невозмущенной атмосферы средних широт: от наблюдений к скейлингу // Изв. Вузов, Радиофизика, 2013, т. 56, выпуск 11-12, с. 787–804.

Расчет электрических параметров грозового облака в численных моделях высокого разрешения

С.О. Дементьева¹, Н.В. Ильин¹, Е.А. Мареев^{1,2}

¹ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

² ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

Прогноз молниевой активности – чрезвычайно важная задача для различных метеорологических приложений и физических исследований. Современные численные модели прогноза погоды не принимают во внимание электрические эффекты, такие как кулоновское взаимодействие заряженных частиц, процессы зарядки гидрометеоров, токи глобальной электрической цепи и т.д. и, таким образом, не могут точно предсказать возникновение молниевых вспышек.

Существует несколько подходов для предсказания грозových событий, основанных на косвенных неэлектрических индексах: CAPE, CTRP, KI и других, которые широко распространены в метеорологии. Предложенный сравнительно недавно в работах [1, 2] индекс молниевой активности (LPI) представляется наиболее перспективным индексом для прогноза молниевых вспышек. LPI определяется как кинетическая энергия восходящего потока в развивающемся облаке, нормированная на вероятность разделения заряда. При этом сравнительный анализ индекса и экспериментальных данных показал, что размеры потенциально опасных областей и время развития опасных метеоявлений значительно недооцениваются.

Современные численные прогнозные модели и существующие компьютерные мощности позволяют применять новые алгоритмы прогноза молний, основанные на прямых вычислениях электрического потенциала и электрического поля в грозовом облаке.

В данных исследованиях использовалась модель Weather Research and Forecasting (WRF) [3]. В данном методе рассматривается безындукционный механизм разделения заряда с двумя типами частиц, переносящих электрический заряд (крупа и льдинки). В нижней части грозового облака маленькие частицы являются носителями отрицательного заряда, большие частицы имеют положительный заряд, в верхней части знаки зарядов обратные. В предположении, что плотность заряда каждой компоненты гидрометеоров пропорциональна массе этой компоненты в единичном объеме воздуха, дополнив предсказанные моделью WRF данные условием электронейтральности в столбе воздуха (что согласуется с предположением о вертикальном разделении заряда при соударении падающей крупинки с переносимой восходящим потоком воздуха льдинкой) и значением максимального заряда на частице крупы $3 \cdot 10^{-12}$ Кл [4, 5], можно получить распределение заряда в пространстве в каждый момент времени. Для определения электрического поля решалось трехмерное уравнение Пуассона с периодическими гранич-

ными условиями по горизонтальным осям координат, нулевым граничным условием на нижней границе и характерным значением электрического потенциала (250 кВ) на верхней границе (20 км).

Данный алгоритм был опробован на тестовой модели грозовой ячейки WRF. Рассчитанная разность потенциалов указывает, что возможность возникновения грозоопасных явлений высока на большей территории, чем предсказывается LPI. Сравнительный анализ индексного метода с реальными данными показывает, что размер потенциально опасных областей обычно недооценивается, поэтому прогноз молниевой активности, основанный на предложенном методе расчета электрического поля, может быть более достоверным, чем большинство существующих на данный момент косвенных методов. Несмотря на то, что предположение о прямой пропорциональности зарядов и плотности гидрометеоров является достаточно грубым, основанная на нем модель расчета электрического поля показывает результаты, согласующиеся с экспериментальными данными о распределении зарядов и полей в грозовом облаке: плотность заряда до 2 нКл/м^3 , электрическое поле до 35 кВ/м , разность потенциалов между Землей и облачным слоем до 250 МВ [6, 7].

Данный метод использовался для моделирования грозовых событий на территории Нижегородской области 28 июля 2013 года. Полученные результаты хорошо коррелируют с имеющимися радарными данными. В ближайшем будущем планируется развитие региональной системы грозопеленгации, что позволит продолжить работу над разработкой новой системы краткосрочного прогноза молниевой активности.

Благодарности. Настоящая работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.В25.31.0023).

Литература

1. *Yair Y., Lynn B., Kotroni V., Lagouvardos K., Morin E., Mugnai A., Llasat M.C.* Predicting the potential for lightning activity in Mediterranean storms based on the Weather Research and Forecasting (WRF) model dynamic and microphysical fields // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115, № D4. P. D04205.
2. *Lynn B., Yair Y.* Prediction of lightning flash density with the WRF model // *Adv. Geosci.* 2010. V. 23. P. 11–16.
3. www.wrf-model.org
4. *Saunders C.* Charge separation mechanism in clouds, New York: Springer, 2008. P. 335–353.
5. *Evtushenko A.A., Mareev E.A.* On the generation of charge layers in MCS stratiform regions // *Atmos. Res.* 2009. V. 91. № 2. P. 272–280.
6. *Volland H.* Atmospheric Electrodynamics – B.: Springer, 1985. 201 p.
7. *Stolzenburg M., Marshall T.C.* Charged precipitation and electric field in two thunderstorms // *J. Geophys. Res.* 1998. V. 103. № D16. P. 19777–19790.

Электромагнитное излучение от незаряженной капли, осциллирующей в электростатическом поле

Н.Ю. Колбнева

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль

Вопросы, связанные с наличием электромагнитного излучения от осциллирующих облачных и дождевых капель, представляют интерес в связи с проблемами радиопомех радиолокационного зондирования метеорологических объектов.

Целью работы являлись исследование и анализ электромагнитного излучения незаряженной каплей, осциллирующей в электростатическом поле. Для достижения заданной цели были поставлены следующие задачи: 1) вывод дисперсионного уравнения для осцилляций незаряженной каплей проводящей жидкости в однородном электростатическом поле; 2) нахождение спектра капиллярных колебаний поверхности капли; 3) проведение оценки интенсивности электромагнитного излучения для отдельной капли и облака.

Постановка задачи. Пусть незаряженная сферическая капля радиуса R идеальной несжимаемой идеально проводящей жидкости с плотностью ρ , коэффициентом поверхностного натяжения σ , находится в идеальной несжимаемой среде с проницаемостью ϵ_{ex} и плотностью ρ_2 в однородном постоянном электрическом поле напряжённости E_0 . Уравнение возмущенной волновым движением поверхности капли в сферической системе координат, начало которой совпадает с положением центра масс, представлено равновесной формой, не совпадающей с исходной сферической формой и капиллярным волновым возмущением поверхности капли. Математическая формула задачи состоит из линеаризованного уравнения Эйлера, уравнения неразрывности, волнового уравнения для вектора напряженности электростатического поля и уравнений, определяющих напряженность поля. Задачу дополнили граничными условиями и условием эквипотенциальности. Для замыкания выписанной системы введены условия неизменности полного объема капли, неподвижности её центра масс и условие незаряженности капли.

Основная часть. Задача решается, полагая, что поля скоростей течения жидкости имеют порядок малости, что и волновое искажение. Искомые величины разложены по порядкам малости. Решив задачу нулевого порядка малости, получили форму равновесной поверхности капли, совпадающей с уравнением вытянутого сфероида. Из динамического граничного условия первого порядка найдено дисперсионное уравнение, в котором коэффициент во втором слагаемом определяет удвоенный декремент затухания. Найдено выражение для интенсивности электромагнитного излучения. Для численных оценок электромагнитного излучения приведены параметры для

капли и среды. Отношение амплитуды возмущения к радиусу капли α_n/R принято постоянным, равное 0.1.

Возможны два источника электромагнитного излучения осциллирующих капель в облаке. Первый связан с осцилляциями низких мод мелких капелек из диапазона наиболее часто встречающихся в облаке размеров от 3 до 30 мкм. Концентрация n таких капель в облаке $\sim 10^3 \text{ см}^{-3}$. Осцилляции всех капель связаны с основной модой $n = 2$. Второй связан с осцилляциями высоких мод крупных капель свободно падающих в облаке в поле сил тяжести (гидрометеоров) с $R = 100 \text{ мкм}$ и концентрацией $\sim 10^3 \text{ м}^{-3}$.

Основные результаты работы. Интенсивности электромагнитного излучения единичной каплей и облака представляют собой прямую зависимость, определяемую квадратом радиуса капли, и квадратичную зависимость, определяемую квадратом напряженности электростатического поля. С увеличением напряженности электростатического внутриоблачного поля интенсивность излучения быстро увеличивается: при увеличении напряженности в пять раз интенсивность излучения увеличивается на порядок. Интенсивность электромагнитного излучения приходится на полосу частот от $\sim 100 \text{ кГц}$ до $\sim 5 \text{ МГц}$. Для слабых полей величина напряженности электростатического поля слабо зависит от частоты. С увеличением размера капли частота излучения снижается быстро, по гиперболической зависимости. При возбуждении высоких мод интенсивность электромагнитного излучения растет пропорционально n^2 . Первый источник электромагнитного излучения имеет большую интенсивность и идет в области более высоких частот, чем второй.

Заключение. Осцилляции незаряженных капель во внешнем электростатическом поле генерируют электромагнитное излучение в широком диапазоне частот. Фоновое излучение облаков естественного и искусственного происхождения может быть частично объяснено излучением электромагнитных волн при осцилляциях как заряженных, так и незаряженных капель в электростатических полях.

Моделирование обратных связей между грозовой активностью, составом атмосферы и изменением погоды и климата

Д.И. Коломеец, С.П. Смышляев

Российский государственный гидрометеорологический университет, С.-Петербург

Грозовая активность приводит к сильным возмущениям, диссоциации и ионизации атмосферных составляющих. Кроме того, молнии являются источниками диоксида и оксида азота в тропосфере. С другой стороны оксиды азота могут повлиять на распределение химического состава атмосферы, температуры и радиационно-активных газов. В свою очередь, изменчивость погоды и климата ведут к перераспределению грозовых облаков, что приводит к изменению частоты молниевых вспышек (т.е. к изменению концентрации оксидов азота). Таким образом, образуются положительные и отрицательные обратные связи между частотой гроз, атмосферной химией и климатическими изменениями. И глобальные и региональные эффекты этих обратных связей имеют важное значения в изменении структуры состава атмосферы. Для изучения механизмов этих обратных связей используются две модели: глобальная химическая модель INM-RSHU WRF-Chem (версия 3.5). WRF-Chem дает возможность моделировать химию атмосферы и аэрозольный состав от облачного до регионально масштабов.

Для численных экспериментов WRF-Chem используется Северо-Западная часть Российской Федерации и Европа (шаг сетки 15 км, с разрешением 180×180). Вертикальная гибридная σ -координата насчитывает 35 уровней от поверхности земли до уровня 50 ГПа. В качестве входных метеорологических параметров выступают данные GFS Final Analyses (с шагом сетки $0.5^\circ \times 0.5^\circ$), которые содержат следующую информацию: температура, U и V-составляющие ветра, относительная влажность, потенциальная температура, давление и т.д. Прогностические данные включают ветер, температуру, давление, водяной пар, облачные частицы и т.д.

В ходе проведения анализа эффекта молниевых вспышек на состав атмосферы были выбраны 3 группы дней летнего периода 2013 года: 1) дни, когда гроза наблюдалась; 2) дни с усиленной глубокой конвекцией; 3) дни перед/до наступления грозы.

Грозы — это явления подсеточного масштаба, поэтому для моделирования конвекции необходима модель с высоким разрешением и комплексной параметризацией, которая смогла бы адекватно воспроизводить рост развитие грозового облака.

Для выбора наиболее оптимальной схемы конвекции для выбранного региона, сравнивались несколько параметризаций: схема Manabe, Arakawa-

Schubert, Betts-Miller и схема Куо (по предварительным оценкам, схема Arakawa-Schubert позволяет точнее оценить конвекцию).

Для моделирования состава атмосферы использовался протокол КРР (чтобы включить в WRF-Chem схему CRLv-R5), а также 8-bin и 4-bin аэрозольные схемы MOSAIC.

Анализ состояния и состава атмосферы в зависимости от конвективного состояния определяет основную роль глубокой конвекции и выявляет механизмы, ведущие к изменению концентрации газов и частоты молниевых вспышек.

Обобщенный анализ метеорологических и химических полей показывает, что обратные связи химия-климат-молнии могут заметно повлиять на долгосрочную эволюцию концентрации газов и аэрозолей в верхней тропосфере и нижней / средней стратосфере.

Литература

1. *Галин В.Я., Володин Е.М.* Совместная химико-климатическая модель атмосферы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 4. С. 437–452.
2. *Smyshlyaev S.P., Geller M.A., Yudin V.A* Sensitivity of model assessments of high-speed civil transport effects on stratospheric ozone resulting from uncertainties in the NO_x production from lightning // J. Geophys. Res. 1988. V. 104. № 21. P. 26401–26417.
3. *Schumann U., Huntrieser H.* The global lightning-induced nitrogen oxides source // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7. № 14. P. 3823–3907.

Возможность использования атмосферно-электрических измерений при проведении мониторинга загрязнения атмосферного воздуха

И.В. Королев, И.Н. Панчишкина

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

В настоящее время контроль загрязнения атмосферы с целью получения сигнальной информации о качестве атмосферного воздуха является одной из проблем экологического мониторинга. При оценке состояния приземной атмосферы важен подбор параметров, отслеживание которых позволит оперативно обнаружить наличие физического и химического загрязнения.

По нашему мнению в качестве индекса аэрозольного и радиоактивного загрязнения воздуха можно использовать значения концентрации легких ионов в атмосфере. Концентрация легких атмосферных ионов — физический параметр, чувствительный к наличию радионуклидов в окружающей среде и аэрозолей в атмосферном воздухе.

Учитывая характер связи между концентрацией легких ионов и объемной активностью радона-222, в качестве критерия загрязнения воздуха может использоваться отношение квадрата концентрации легких ионов к объемной активности радона-222:

$$F = n^2/A_{Rn},$$

где n — концентрация легких ионов [$1/м^3$], A_{Rn} — объемная активность радона-222 [$Бк/м^3$].

По данным объемной активности радона-222 и концентрации легких ионов рассчитаны значения критерия F для пункта наблюдений на пике Четет в Приэльбрусье и для нескольких пунктов на территории Ростовской области. Установлено, что критерий F имеет более низкие значения в тех пунктах Ростовской области, где наблюдатели чаще отмечали наличие помутняющих атмосферу факторов (пыль, дым, туман и т.д.). В крупном промышленном центре г. Ростове-на-Дону критерий F имеет наименьшие значения. Высокое по сравнению с пунктами Ростовской области значение F получено по результатам измерений на пике Четет. Этот факт можно объяснить малым содержанием в горном воздухе аэрозоля антропогенного происхождения и присутствием других источников ионообразования, характерных для условий высокогорья.

По предварительным исследованиям в Ростовской области летом 2012 года, обнаруживается снижение критерия F при увеличении концентрации в воздухе аэрозолей N_A [$1/м^3$] с диаметром от 0,3 до 0,4 мкм. Полученная зависимость аппроксимируется функцией $F = 23 \exp(-0,012 N_A)$.

Вариации напряженности электрического поля у земли и их влияние на больных гипертонией и сердечно-сосудистыми заболеваниями

И.Х. Мацуков

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

Изменение синоптической ситуации в регионе практически всегда сопровождается изменением природного электромагнитного фона. Параметры электромагнитного поля атмосферы у поверхности земли являются ключевыми для оценки влияния погоды на самочувствие человека.

В период с 2006 по 2008 гг. в г. Нальчике был проведен мониторинг градиента потенциала электрического поля атмосферы у поверхности земли, с помощью регистрирующей аппаратуры ФГБУ «ВГИ», включающей в себя датчик напряженности электрического поля «Поле-2». В это же время со станции скорой медицинской помощи г. Нальчика были собраны и систематизированы среднесуточные данные о количестве обращений по следующим болезням: гипертония, гипертонический криз, общий инфаркт миокарда, сердечно-сосудистая патология, стенокардия (ИБС), аритмия.

В работе [1] были начаты исследования по выявлению скрытых закономерностей влияния изменений напряженности электрического поля атмосферы на обострение гипертонической болезни и сердечно-сосудистых заболеваний в период 2005–2006 гг.. В данной работе проведено исследование по данным первого полугодия (январь–июнь) 2007 года методами факторного и кластерного анализа [2]:

1. На основе собранных данных за указанный период были построены графики временного хода вызовов и напряженности с января по июнь, получены тренды и их уравнения, из которого видно, что имеется сезонная тенденция к уменьшению, как средней напряженности, так и количества вызовов скорой помощи по болезням.

2. Проведена описательная статистика для количества вызовов по каждой болезни, по напряженности электрического поля, а также сделан корреляционный анализ для выявления связи между исследуемыми величинами.

3. Получена факторная модель для исходного массива параметров (количество вызовов скорой помощи по вышеперечисленным заболеваниям), исследована корреляционная связь компонент факторной модели с градиентом потенциала электрического поля атмосферы вблизи земной поверхности.

Анализ показал, что наибольшее среднесуточное количество вызовов приходится на гипертоническую болезнь — 32, наименьшее — на инфаркт миокарда, в среднем 1 вызов за день. Общая сумма вызовов максимальна для гипертонии — 5931, и минимальна для инфаркта миокарда — 179 вызо-

вов за полгода. Коэффициенты асимметрии и эксцесса достаточно малы (< 1), что указывает на нормальное распределение рядов по количеству вызовов и возможность применения корреляционного анализа Пирсона.

Найдены коэффициенты корреляции между среднесуточными значениями напряженности электрического поля атмосферы у земли E (В/м) и количеством вызовов в день по вышеуказанным болезням. Полученные коэффициенты корреляции между среднесуточной напряженностью и количеством вызовов в день очень малы и меняются от 0,026 до 0,257.

Таким образом, вызовы на станцию скорой помощи по болезням гипертонический криз, сердечно-сосудистые заболевания и стенокардия, имеют положительную значимую зависимость от изменения величины среднесуточной напряженности электрического поля атмосферы у земли.

Очевидно, воздействие вариаций электрического поля на организм человека — это реально многофакторный процесс, характер которого сложным образом меняется во времени. Для дальнейшего определения условий максимальной зависимости метеотропной реакции больных от изменения напряженности электрического поля, необходимо провести классификацию объектов, а именно: произвести разбиение совокупности дней на однородные подмножества с пиками количества вызовов и изменением напряженности поля атмосферы у земли. Изучение напряженности электрического поля атмосферы у поверхности земли дает нам такую возможность, поскольку регистрация изменений напряженности производилась каждые 3 мин в течение суток на протяжении трех лет (2006–2008 гг.).

Литература

1. *Аджиева О.А., Бжекишев С.Л., Маиуков И.Х., Маиуков Х.Х.* Исследование связи между изменениями градиента потенциала электрического поля атмосферы у земли и метеотропными реакциями у кардио- и гипертонических больных. VI Российская конференция по атмосферному электричеству. 1–7 окт., 2007 г., Нижний Новгород, С. 263–264.
2. *Моостюллер Г., Ребекк Н.Н.* Маркетинговые исследования с SPSS. Москва, Инфра-М, 2009.

Исследование влияния грозовой деятельности на содержание соединений азота в атмосферных осадках

А.С. Отарова, Х.Х. Машуков

Высокогорный геофизический институт, Нальчик

В течение ряда лет в Высокогорном геофизическом институте проводились исследования по изучению влияния гроз на загрязнение атмосферных осадков соединениями азота. Молниевые разряды способны переводить атмосферный азот в химически связанное состояние, однако, неизвестно насколько протекающие в облаках и околооблачном пространстве электрохимические процессы могут влиять на загрязнение атмосферных осадков производными азота, прежде всего нитрит-ионами, являющимися первичными продуктами растворения оксида азота.

В течение трех теплых периодов (апрель–сентябрь) 2009–2011 гг. в 2-х пунктах предгорно-низкогорной зоны Центрального Кавказа проводились наблюдения за содержанием в атмосферных осадках неорганических соединений азота (нитритов, нитратов и ионов аммония). Пункты Нальчик и Кашхатау располагаются в 25 км друг от друга по линии север-юг. Измеренные концентрации неорганических соединений азота сопоставили с данными по грозовой активности в районе, полученными системой грозорегистрации LS8000, установленной на Северном Кавказе в 2008 году [1].

За время наблюдений было проанализировано 49 случаев выпадения осадков в г. Нальчике и 58 случаев в п. Кашхатау. Полученные данные представлены в таблице. Случаи выпадения дождевых осадков относили к грозовым при регистрации более 100 разрядов за время грозового процесса.

Сравнение двух рядов наблюдений с грозами и без них по таким показателям, как средняя концентрация, медиана, минимальная и максимальная концентрация, не выявило существенных различий между содержаниями неорганических соединений азота в осадках из грозовых и не грозовых облаков. Только минимальные концентрации NH_4^+ в дни с грозами были немного выше, чем их минимальные значения в дни без гроз. Так, концентрация NO_3^- не опускалась ниже 0,5 мг/л, а NH_4^+ — не ниже 0,19–0,40 мг/л. В то же время минимумы в рядах наблюдений без гроз могли быть ниже предела определения, составляющего 0,1 мг/л для нитрат-ионов и 0,01 мг/л для ионов аммония.

При интенсивных грозах (около 1000 разрядов за один процесс на контролируемой территории) также не проявлялось тенденции к повышению уровня загрязнения атмосферных осадков соединениями азота. Что же касается токсичных нитрит-ионов, то величина их концентраций в большинстве случаев при грозах различной интенсивности находилась в типичном для региона диапазоне 0,04–0,05 мг/л. За весь период наблюдений не отмечено

ни одного случая повышенной концентрации NO_2^- при грозах, хотя принято считать, что связывание атмосферного азота при электрических разрядах является одним из источников поступления соединений азота в биосферу [2].

Таблица. Содержание неорганических соединений азота в атмосферных осадках в теплые периоды (апрель–сентябрь) 2012 г.

Концентрация, мг/л						
Значения	Нальчик дни с грозами			Кашхатау дни с грозами		
	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+
Среднее	0,034	1,86	1,24	0,045	2,58	1,10
Максимальное	0,138	8,33	2,70	0,140	11,68	2,82
Минимальное	0,005	0,46	0,40	0,008	0,61	0,40
Медиана	0,021	1,59	1,10	0,040	1,75	0,99
	дни без гроз					
Среднее	0,031	2,65	1,14	0,056	4,24	1,42
Максимальное	0,065	14,56	2,70	0,60	21,86	2,72
Минимальное	0,005	0,62	0,27	0,009	0,26	0,19
Медиана	0,032	1,62	0,73	0,042	2,88	1,16

Сопоставительный анализ данных системы грозопеленгации и содержания соединений азота в атмосферных осадках показал, что в настоящее время в условиях Центрального Кавказа антропогенные источники загрязнения преобладают над природными, связанными с грозовой активностью.

Литература

1. Машуков Х.Х., Жинжакова Л.З., Кулиев Д.Д., Реутова Т.В. Исследование влияния грозовой активности на содержание неорганических соединений азота в атмосферных осадках // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству. Сборник трудов. 2012. С. 166–168.
2. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М., 1976. 248 с.

Устойчивость осцилляций поверхности сильно заряженной капли в электростатическом подвесе

Н.А. Петрушов

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль

Исследование равновесных форм заряженных капель во внешних силовых полях представляет интерес в связи с многочисленными академическими, техническими и технологическими приложениями. Отдельный интерес представляет расчет равновесных форм капель в бесконтактных подвесах различного типа: акустического, аэродинамического, электромагнитного, электростатического [1] и их всевозможных комбинаций. И связанные с ними условия неустойчивости равновесной формы и начальных возмущений.

Вычислена равновесная форма поверхности капли идеальной проводящей жидкости, несущей заряд и подвешенную в электростатическом подвесе, когда коллинеарные внешнее однородное электростатическое поле и гравитационное поле удерживают её в «подвешенном» состоянии. Равновесная форма найдена в виде разложения по полиномам Лежандра:

$$r(\theta) = R + f(\theta) = R + \sum a_n P_n(\cos \theta) \quad (1)$$

полагая, что функция $f(\theta)$ в (1) описывает малое отклонение формы от сферической капли радиуса R . Полученная форма поверхности хорошо согласуется с проведенными ранее вычислениями [2].

Получены критические значения параметров Тейлора (2) и Релея (3), при которых равновесная форма капли теряет устойчивость, и критические значения параметров для реализации неустойчивости волнового движения на поверхности капли.

$$w \equiv E_0^2 R / (16\pi \sigma), \quad (2)$$

$$W = Q^2 / (16\pi R^3 \sigma), \quad (3)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения жидкости капли.

Литература

1. Doyle A., D.R. Moffet, B. Vonnegut Behavior of evaporating electrically charged droplets // J. Colloid Sci. 1964. V. 19. P. 136–143.
2. Ширяева С.О. Нелинейный анализ равновесной формы заряженной электропроводной капли в электростатическом подвесе // ЖТФ. 2006. Т. 76, вып. 10. С. 32–40.

Унитарная вариация аэроэлектрического поля по результатам наземных натуральных наблюдений среднеширотной обсерватории

А.А. Прохорчук, С.В. Анисимов

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Результаты натуральных атмосферных электрических наблюдений, выполненных экспедицией «Карнеги» (1928–1929), показывают, что среднесуточный ход напряженности вертикального электрического поля приземной атмосферы E_z , измеренной над океаном в условиях «хорошей погоды» (отсутствие осадков, малая облачность, слабый ветер), не зависит от географических координат точки, в которой проводились наблюдения [1, 2]. Наблюдаемый за время работы экспедиции среднесуточный ход E_z получил название «кривой Карнеги», а выявленная вариация E_z — унитарной вариации. Согласно гипотезе глобальной электрической цепи унитарная вариация обусловлена изменением глобальной разности потенциалов между земной поверхностью и ионосферой [1, 3].

Над сушей ряд локальных факторов (интенсивная конвекция, высокая концентрация аэрозолей, низкая облачность, антропогенное загрязнение) препятствует обнаружению унитарной вариации. Влияние этих факторов наименее значимо в зимние сезоны наблюдений при выполнении условий «хорошей погоды», что показано на примере отдельных континентальных обсерваторий. По результатам обработки данных многолетних наземных натуральных среднеширотных наблюдений аэроэлектрического поля в обсерватории «Борок» [<http://geodata.borok.ru>] обнаружена среднесуточная вариация напряженности аэроэлектрического поля E_z . Данные наблюдений получены в условиях низкого уровня промышленного электромагнитного и естественного сейсмического шума, вдали от источников промышленных загрязнений [4]. Исследовано влияние скорости ветра и облачности на среднее значение напряженности аэроэлектрического поля. Результаты статистического анализа непрерывных рядов E_z , выполненные по данным наблюдений среднеширотных обсерваторий «Марста» (59°56' N, 17°35' E) и «Борок» (58°04' N, 38°23' E), показали, что среднесуточные вариации напряженности аэроэлектрического поля в зимний период имеют значимые коэффициенты детерминации с кривой Карнеги. Коэффициент детерминации для обсерватории «Марста» равен 0,92, для обсерватории «Борок» — 0,88 [5, 6].

Обнаружение унитарной вариации аэроэлектрического поля по материалам среднеширотной континентальной обсерватории согласуется с гипотезой глобального генератора атмосферного электрического поля и показыва-

ет репрезентативность выполняемых обсерваторских аэроэлектрических наблюдений.

Работа проводится при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 12-05-00820, № 13-05-12060) и гранта Правительства РФ (договор № 14.В25.31.0023).

Литература

1. *Wilson C.T.R.* Investigations on Lightning Discharges and on the Electric Field of Thunderstorms, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 1921, A 221, P. 7–115.
2. *Harrison R.G.* The Carnegie Curve // *Surv. Geophys.*, 2013, 34, P. 209–232.
3. *Анисимов С.В., Мареев Е.А.* Геофизические исследования глобальной электрической цепи, *Известия. Физика твердой Земли*, 2008, Т. 44, № 10, С. 760–769.
4. *Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Гурьев А.В., Дмитриев Э.М.* Атмосферные электрические наблюдения на геофизической обсерватории «Борок» // Сборник трудов VII всероссийской конференции по атмосферному электричеству, 2012, С. 24–26.
5. *Israelson S., Tammet H.* Variation of fair weather atmospheric electricity at Marsta Observatory, Sweden, 1993–1998 // *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*, 2001, 63, P. 1693–1703.
6. *Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Шихова Н.М.* Динамика электричества невозмущенной атмосферы средних широт: от наблюдений к скейлингу, *Известия вузов. Радиофизика*, 2013, Т. LVI, №11–12, С. 787–789.

Динамика электрических параметров приземной атмосферы при прохождении облаков различных форм

К.Н. Пустовалов, П.М. Нагорский

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

Представлены результаты исследования изменчивости приземного электродного слоя при прохождении объёмных зарядов в облаках различных форм: как вертикального развития, так и слоистых. Используются данные: мониторинга атмосферно-электрических величин в геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН с 2010 по 2013 гг.; данные ГМС Томск; синоптические карты (фронтальный анализ, Новосибирск, RUNW).

Известно достаточное количество подходов и моделей, описывающих состояние электродного слоя атмосферы в квазистационарных условиях. Менее изученными остаются вопросы изменчивости атмосферно-электрических величин в приземном слое при нарушении условий «хорошей» погоды [1]. Проведённые ранее нами исследования выявили некоторые особенности в изменчивости электродного слоя, связанные с изменением состояния атмосферы во время прохождения кучево-дождевых облаков и связанными с ними явлениями (гроза, ливневый снег) [2].

Из данных по напряжённости поля E и полярных электропроводностей λ_{\pm} были выделены случаи вариаций этих характеристик под действием внутримассовой и фронтальной облачности. Для анализа были отобраны только случаи прохождения фронтов, пересекающими пункт мониторинга под углом близким к прямому. Случаи вариаций E , λ_{\pm} , искажённых влиянием других явлений (туманов, лесных пожаров и др.), были исключены.

Отобранные случаи разделены на 4 группы и представлены в табл. 1:

- вариации E и λ_{\pm} , связанные с прохождением облаков холодного фронта (основного или вторичного);
- вариации E и λ_{\pm} , связанные с прохождением облаков тёплого фронта;
- вариации E и λ_{\pm} , связанные с прохождением фронта окклюзии (тёплого или холодного);
- вариации E и λ_{\pm} , связанные с внутримассовой облачностью.

Таблица 1. Расчеты по данным инструментальных наблюдений и метеоданным на территории Краснодарского края по разделенным 19 площадям.

Холодный фронт	Тёплый фронт	Фронт окклюзии	Внутримассовая Облачность
52	20	21	31

Используя срочные данные основных метеорологических параметров, был произведён подробный анализ погодных условий для каждой группы

случаев и выявлены характерные особенности изменения электрических характеристик под влиянием различных форм облачности.

Кучевые облака. Наблюдается последовательная смена положительного возмущения E отрицательным, при этом происходит падение вначале λ_- , а затем λ_+ с последующим восстановлением (либо наблюдается обратная картина).

Кучево-дождевые облака. Зарегистрирована многократная, как правило, чётная, смена знака возмущения E (в зависимости от количества конвективных ячеек) и связанное с ними последовательное падение и восстановление λ_{\pm} . Пример приведен на рис. 1.

Высококучевая и слоисто-дождевая облачность (рис. 1). Наблюдается продолжительное, флуктуирующее, положительное либо отрицательное возмущение E , знак которого, скорее всего, определяется знаком объёмного заряда на нижней границе облачности. Возмущение E под влиянием Ns больше по абсолютной величине и продолжительности, чем от As . Для λ_{\pm} наблюдается падение λ только одной полярности (в зависимости от знака возмущения E), величина λ другой полярности практически не меняется.

Высококучевые и слоисто-кучевые облака. Наблюдается серия небольших либо положительных, либо отрицательных возмущений E . Для Sc возмущения E существенно больше чем у As . Им соответствует серия небольших уменьшений электропроводности одной из полярностей.

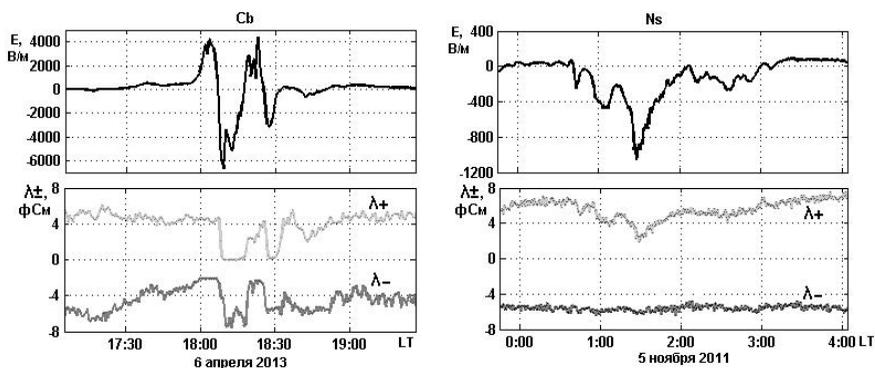


Рис. 1. Вариации E и λ_{\pm} во время прохождения Cb (слева) и Ns (справа).

Литература

1. Мазин И.П. Облака и облачная атмосфера. Справочник / И.П. Мазин, А.Х. Хргиан – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 647 с.
2. Нагорский П.М., Морозов В.Н., Смирнов С.В., Пустовалов К.Н. Электродный слой в электрическом поле мощной конвективной облачности // Изв.ВУЗов. Радиофизика, 2013, Т. 56, № 11, С. 853–863.

Влияние особенностей источников глобальной цепи на ионосферный потенциал

Н.Н. Слюняев, А.А. Жидков

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Несмотря на большое количество появившихся в последнее время моделей глобальной электрической цепи, ряд важных вопросов, связанных с её моделированием, по-прежнему остаётся до конца не исследованным. Сюда относятся, в частности, многие вопросы, касающиеся правильного описания грозовых облаков и других облаков с развитой электрической структурой — источников глобальной цепи.

В работе [1] была построена математически корректная стационарная модель глобальной электрической цепи, основанная на уравнениях Максвелла в сферической геометрии атмосферы Земли. Поскольку единственными «входными данными» этой модели являются пространственные распределения проводимости и источников глобальной цепи в атмосфере, она является удобным средством для исследования вопросов, связанных с влиянием на глобальную цепь особенностей источников и крупномасштабных неоднородностей проводимости. Основываясь на модельном грозовом облаке в виде области с пониженной проводимостью и постоянной чисто радиальной плотностью стороннего электрического тока (распределённый дипольный источник), можно показать, что учёт большего вертикального масштаба облака (с пониженной проводимостью) по сравнению с вертикальным масштабом области источников приводит к значительному снижению ионосферного потенциала, а учёт недипольности источника приводит также к существенному искажению структуры линий электрического поля вблизи облака. Кроме того, расчёты показывают, что ионосферный потенциал оказывается существенно более чувствительным к возмущениям проводимости и стороннего тока внутри источников, чем к изменениям проводимости в верхней атмосфере, например связанным с влиянием солнечной активности.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации (договор № 14.В25.31.0023) и гранта РФФИ № 13-05-01139.

Литература

1. Калинин А.В., Слюняев Н.Н., Мареев Е.А., Жидков А.А. Стационарные и нестационарные модели глобальной электрической цепи: корректность, аналитические соотношения, численная реализация // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 3. С. 355–364

Скейлинг аэроэлектрического поля и тока по данным среднеширотной обсерватории

С.В. Анисимов, Н.М. Шихова

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Исследованы свойства самоподобия атмосферного электрического поля и тока в широком диапазоне временных масштабов, включая аэроэлектрические турбулентные пульсации, а также суточные и сезонные вариации [1, 2]. Используются данные непрерывных многолетних (1998–2013 гг.) аэроэлектрических наблюдений (база данных среднеширотной геофизической обсерватории «Борок» — <http://geodata.borok.ru>), проводимых с высоким временным разрешением [2].

По результатам среднеширотных наземных аэроэлектрических и метеорологических наблюдений, а также статистического анализа полученных данных, соответствующих условиям свободной невозмущенной атмосферы (условия «хорошей погоды»), обнаружена фрактальная структура [3] длиннопериодных изменений атмосферного электрического поля (E_z) и плотности вертикального электрического тока (J_z). Определены особенности динамики и фрактальная размерность E_z и J_z для среднечасовых рядов наблюдений аэроэлектрических параметров. Показано, что на масштабах от секунды до года вариации аэроэлектрического поля обладают свойством самоподобия, а смене стратификации атмосферного пограничного слоя (АПС) соответствуют временные интервалы, характеризующиеся перемежаемостью E_z [3, 4]. Исследованы внутригодовые тренды E_z и J_z . Обнаружено, что максимум годового хода напряженности аэроэлектрического поля достоверно наблюдается в апреле–мае, а соответствующий минимумом плотности вертикального электрического тока — в апреле. Выявлено, что суточная вариация E_z в зимний сезон имеет максимум в 19–20 UT, что согласуется с унитарной вариацией аэроэлектрического поля. Суточная вариация E_z летнего сезона наблюдений имеет, как правило, два максимума, соответствующих максимуму региональной конвективной активности (максимум локального полдня) и максимуму глобального грозового генератора (максимум 19–20 UT). Утверждается, что статистические характеристики E_z отражают изменения состояния АПС [5, 6].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, (гранты № 12-05-00820, № 13-05-12060) и гранта Правительства РФ (договор № 14.V25.31.0023).

Литература

1. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М. Формирование электрически активных слоев атмосферы с температурной инверсией // Физика атмосферы и океана, 2012, Т. 48, № 4, С. 442–452.

2. *Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Шихова Н.М.* Динамика электричества невозмущенной атмосферы средних широт: от наблюдений к скейлингу // Изв. Вузов, Радиофизика. 2013. Т. 56 № 11–12. С. 787–802.
3. *Anisimov S.V., Shikhova N.M.* Intermittency of Turbulent Aeroelectric Field // *Atmos. Res.*, 2014. V. 135–136, P. 255–262.
4. *Anisimov S.V., Galichenko S.V., Shikhova N.M.* Space charge and aeroelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study // *Atmos. Res.* 2014. V. 135–136, P. 244–254.
5. *Анисимов С.В., Галиченко С.В., Шихова Н.М., Афиногенов К.В.* Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // *Физика атмосферы и океана*, 2014, Т.50, № 4, С. 445–454.
6. *Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M., Shatalina M.V., Galichenko S.V., Zilitinkevich S.S.* Aeroelectric structures and turbulence in the atmospheric boundary layer // *Nonlin. Processes Geophys.*, 20, 2013, P. 819–824, www.nonlin-processes-geophys.net/20/819/2013/ doi:10.5194/npg-20-819-2013

**ДИАГНОСТИКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Математическое моделирование полярных стратосферных облаков с учетом кинетических и гетерогенных процессов

А.Е. Алоян

Институт вычислительной математики РАН, Москва

Построена новая математическая модель глобального переноса газовых примесей и аэрозолей в атмосфере и формирования полярных стратосферных облаков (ПСО) в обоих полушариях, в условиях местной полярной зимы. В Антарктиде ПСО появляются в период с июня по сентябрь, а в Арктике — с декабря по середину марта, когда температура воздуха на высоте 20 км опускается до -80°C и ниже. Они играют существенную роль в химии озона, так как на поверхности их частиц протекают гетерогенные реакции, влияющие на газовый состав атмосферы и в частности, на содержание хлорных и азотистых соединений, активно участвующих в разрушении озона. Определенное значение ПСО имеют также в радиационном балансе стратосферы и могут приводить к значительным изменениям температуры в полярных районах в зимний период.

Стратосферные облака образуются при совместной конденсации паров воды и азотной кислоты на сульфатных частицах, а также, в отдельных случаях, при замерзании частиц. Эти облака различаются по химическому составу и микрофизике. Термин ПСО объединяет различные типы стратосферных облаков, которые можно подразделить на две большие группы. К облакам типа I относятся ПСО, содержащие твердые гидраты азотной кислоты, а также азотную кислоту в жидком трехкомпонентном растворе с водой и серной кислотой. К облакам типа II относят ПСО, состоящие из ледяных частиц. При охлаждении стратосферы в полярных областях стратосферные сульфатные аэрозоли адсорбируют газообразную воду и азотную кислоту, формируя трехкомпонентный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$. Продолжающаяся адсорбция воды и азотной кислоты при дополнительном охлаждении может вызвать разбавление концентрации H_2SO_4 до такой степени, что раствор превратится в смесь $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$. В результате получается замерзание тригидрата азотной кислоты.

Для математического моделирования формирования ПСО предложены новые кинетические уравнения, описывающие изменчивость веществ, находящихся в газовой и конденсированной фазах (совместно с А.Н. Ермаковым и В.О. Арутюняном). В большинстве моделей задаются постоянные фоновые значения сульфатных аэрозолей в нижней стратосфере. Это является сильным упрощением, поскольку сульфатные аэрозоли в стратосфере обладают существенной пространственно-временной неоднородностью. Поэтому решение этой задачи осуществляется с привлечением пространственной модели формирования сульфатных аэрозолей в верхней тропосфере и ниж-

ней стратосфере, учитывающей химические и кинетические процессы трансформации (фотохимия, нуклеация, конденсация/испарение, коагуляции) на основе неравновесной функции распределения частиц по размерам [1, 2]. В такой постановке рассматриваемая система уравнений является замкнутой и позволяет правильно описать динамику ПСО в стратосфере.

По разработанной модели проводились численные эксперименты для воспроизведения пространственно-временной изменчивости полярных облаков в стратосфере. Численные расчеты проводились в следующей последовательности. На первом этапе решается задача переноса многокомпонентных газовых примесей и аэрозолей и формирования сульфатных частиц в тропосфере и нижней стратосфере для сферической атмосферы с учетом химических и кинетических процессов. Эта модель позволяет воспроизвести спектр сульфатных частиц из газов–предшественников в диапазоне размеров от 3 нм до 1–1,5 мкм. На втором этапе с использованием уже полученных сульфатных частиц решается задача формирования ПСО. Построена система взаимосвязанных уравнений для веществ, находящихся в газовой и конденсированной фазах с учетом спектра размеров сульфатных частиц.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 12-05-00278 и 12-05-00236.

Литература

1. *Turco R.P., Hamill P., Toon O.B., Whitten R.C., Kiang C.S.* A one-dimensional model describing aerosol formation and evolution in the stratosphere: 1. Physical processes and mathematical analogues // *J. Atmos. Sci.* 1979. V. 36, P. 699–717.
2. *Алоян А.Е., Ермаков А.Н., Арутюнян В.О.* Формирование сульфатных аэрозолей в тропосфере и нижней стратосфере / А.Н. Ермаков, В.О. Арутюнян // *Исследование возможной стабилизации климата с помощью новых технологий.* – М., Росгидромет, 2012. С. 75–98.

Атмосферная химия над очагами лесных и торфяных пожаров

А.Е. Алоян¹, А.Н. Ермаков², В.О. Арутюнян¹

¹ Институт вычислительной математики РАН, Москва

² ИНЭП ХФ им. В.Л. Тальрозе РАН, Москва

В естественных условиях в атмосферу выбрасывается огромное разнообразие индивидуальных органических компонентов, в числе которых фигурируют алканы, алкены, ароматические соединения, изопрен, терпены и мн. др. [1]. Их номенклатура значительно расширяется, а эмиссия многократно возрастает в экстремальные периоды лесных и торфяных пожаров. Участвуя в атмосферных химических и фотохимических реакциях, эти компоненты, превращаясь сначала в низко летучие компоненты, конденсируются затем с образованием частиц органического аэрозоля (ОА) [1,2].

Для моделирования кинетики образования частиц ОА в периоды пожаров были построены уравнения для описания переноса низко летучих индивидуальных компонентов между газовой и конденсированной фазы. Их давления насыщения заимствовались при этом из баз данных или вычислялись, как описано в [3,4].

В модели горения торфа учитывались около 300 химических реакций с участием 114 газовых компонентов. При этом решалась система из 135 дифференциальных уравнений совместно с 21 уравнениями переноса низко летучих компонентов между газовой и конденсированной фазы (с учетом спектра размеров частиц). В модели лесных пожарах химический блок модели был несколько шире. Решалась система из 135 уравнений совместно с 19 уравнениями переноса низко летучих компонентов между газовой и конденсированной фазами.

Динамика процессов переноса в атмосфере при лесных и торфяных пожарах рассчитывалась с применением математической модели переноса многокомпонентных газовых примесей и аэрозолей. Данная модель включает: модель гидродинамики мезомасштабных атмосферных процессов с учетом тепловых выбросов очагов горения биомассы, уравнения химической и фотохимической трансформации многокомпонентных газовых примесей и аэрозолей с учетом, бинарной и тернарной нуклеации, конденсации/испарения и коагуляции

По результатам численных экспериментов было найдено, что скорости газозных химических превращений над очагами горения многократно возрастают в сравнении с таковыми в невозмущенной пожарами атмосфере. Это связано не только с локальным ростом концентраций выбрасываемых продуктов сгорания биомассы, но и с усилением в атмосфере взаимного ускорения (сопряжения) фотохимических и химических процессов окисле-

ния CO и NO_x, восполняющего убыль радикалов OH вопреки их интенсивному расходованию в реакциях с органическими компонентами. При этом концентрации радикалов HO₂ возрастают в десятки, а порой и в сотни раз (!) в сравнении с невозмущенной атмосферой. Неожиданным оказалось наличие над очагом горения в дневное время и «ночных» радикалов NO₃, а также их участие в процессах окисления эмитируемых пожарами ненасыщенных органических компонентов в атмосферу.

По результатам расчетов было найдено также, что образование частиц ОА начинается уже непосредственно над очагом горения. При этом наряду с самыми мелкими из них (3 нм) в заметных концентрациях обнаруживаются и крупные частицы (вплоть до ≈ 5 мкм), что еще раз свидетельствует о возрастании над очагами горения скоростей химических и фотохимических процессов.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 12-05-00236 и 12-05-00278.

Литература

1. *Kanakidou M., Seinfeld J.H., Pandis S.N., et al.* Organic aerosol and global climate modelling: a review // *Atmos. Chem. Phys.* 2005. V. 5. № 4. P. 1053–1123.
2. *Akagi S.K., Yokelson R.J., Wiedinmer C., et al.* Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2010. V. 10. P. 27523–27602.
3. *Capouet M., Müller J.F.* A group contribution method for estimating the vapour pressures of α -pinene oxidation products // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2005. V 5. P.11249-11276.
4. *Joback K.G., Reid R.C.* Estimation of pure-component properties from group-contributions // *Chem. Eng. and Com.* 1987. V. 57. P. 233–243.

Оценка чувствительности атмосферных и климатических моделей к малым внешним воздействиям с помощью флуктуационно-диссипационных соотношений

А.С. Грицун

Институт вычислительной математики РАН, Москва

Перспективным методом оценки чувствительности моделей атмосферы и реальной климатической системы к внешним воздействиям является методика построения приближенного оператора отклика, основанная на применении флуктуационно-диссипационных соотношений. Классические флуктуационно-диссипационные соотношения [1, 2], полученные для равновесных систем с гауссовой мерой, связывают операторы отклика статистических характеристик модели на внешние воздействия с ее невозмущенными статистическими характеристиками. Таким образом, чувствительность определённых характеристик системы к изменению внешних параметров может быть вычислена непосредственно по траектории системы (по данным наблюдений). Обобщенные флуктуационно-диссипационные соотношения [4] дают теоретическую возможность построения оператора отклика и в случае периодической зависимости правой части системы от времени (применительно к задачам моделирования атмосферы это соответствует экспериментам в режиме годового хода).

В настоящем докладе обсуждаются результаты применения данного подхода для оценки чувствительности моделей атмосферы и климата к изменениям температуры поверхности океана и солёности на различных временных масштабах.

Литература

1. *Kraichnan R.H.* Classical fluctuation-relaxation theorem // *Phys. Rev.* 1959. V. 113. P. 1181–1182.
2. *Deker U., Haake F.* Fluctuation-dissipation theorems for classical processes // *Phys. Rev.* 1975. V. A11. P. 2043.
3. *Gritsun A., Branstator G.* Climate response using a three-dimensional operator based on the fluctuation-dissipation theorem // *Journal of Atmospheric Sciences*, 2007, V. 64. P. 2558–2575.
4. *Majda A.J., Wang X.* Linear response theory for statistical ensembles in complex systems with time-periodic forcing // *Comm. Math. Sci.*, 2010, V. 8, Issue 1, P. 145–172.
5. *Грицун А.* Построение операторов отклика на малые внешние воздействия для моделей общей циркуляции атмосферы с периодическими по времени правыми частями // *Изв. РАН, ФАиО.* 2010. Т. 46, №6, С. 808–817.

Прогноз конвективных событий в мезомасштабных моделях (на примере WRF-ARW)

Н.В. Ильин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Достоверный прогноз опасных конвективных событий — важная фундаментальная задача современной геофизики. В последнее десятилетие интенсивно развиваются мезомасштабные негидростатические численные модели прогноза погоды (WRF, COSMO), способные напрямую разрешать глубокую конвекцию без использования параметризаций.

Модель Weather Research and Forecasting (WRF) — система численного прогноза погоды и моделирования атмосферы, разработанная как для исследовательских задач, так и для практических приложений [1]. WRF развивается и поддерживается в основном двумя научными центрами (NCAR и NCEP) и направлена на создание мезомасштабной модели прогнозирования погоды и совершенствование системы усвоения метеорологических данных для углубления понимания процессов, связанных с изменением погоды на средних масштабах.

WRF разрабатывается и поддерживается как общедоступная модель и подходит для множества различных приложений от мелкомасштабных задач до глобального моделирования. Модель включает в себя широкий спектр параметризаций физических процессов и является удобным инструментом для верификации новых моделей и алгоритмов.

В докладе представлен обзор возможностей численной модели WRF (динамическое ядро ARW): кратко описаны исходные уравнения, основные приближения, методы численного решения, параметризации. Показаны основные трудности начального этапа использования модели (процессы сборки, инициализации и запуска) на примере идеализированной грозовой ячейки. Представлены результаты расчетов интенсивных конвективных событий на примере Нижегородской области и проведено сравнение с радарными данными.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Правительства Российской Федерации (договор № 14.В25.31.0023).

Литература

1. www.wrf-model.org.

Гидродинамические модели формирования атмосферных фронтов и циклонов

М.В. Калашник^{1,2}

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

² Институт экспериментальной метеорологии НИО «Гайфун», Обнинск

Существование зон резких горизонтальных изменений полей температуры и скорости (фронтальных зон) — одна из ярких особенностей динамики атмосферы. Вопрос о физических механизмах формирования фронтов к настоящему времени изучен недостаточно полно. В значительной степени это связано со спецификой возникающих здесь математических задач. Движения атмосферы не описываются уравнениями гиперболического типа, для которых хорошо развита теория образования разрывов. Физика природных фронтов также принципиально отличается от физики образования ударных волн в газовой динамике.

Основное внимание в лекции уделено анализу двух важнейших механизмов атмосферного фронтогенеза — деформационного механизма и механизма нелинейного геострофического приспособления. Первый механизм [1] связывает образование фронтов с наличием специального класса крупномасштабных деформационных полей скорости, обостряющих начальные температурные градиенты. Данный механизм, как правило, исследуется на основе численного моделирования. В лекции приводятся достаточно простые аналитические решения, описывающие процесс формирования холодного атмосферного фронта в гиперболическом деформационном поле типа седла. Приведено выражение для характерного времени образования фронта. Результаты сравниваются с эмпирическими данными о структуре фронтов.

Развитая относительно недавно теория несбалансированного фронтогенеза [26] связывает образование фронтальных зон с процессом нелинейного геострофического приспособления — процессом установления в атмосфере состояний геострофического баланса. Основной физический результат здесь состоит в том, что даже в случае гладких начальных несбалансированных полей могут формироваться разрывные геострофические состояния. В лекции представлен полученный автором класс точных решений ряда задач теории нелинейного геострофического приспособления. На основе этих решений сформулированы критерии формирования фронтов (разрывов). Показано, что структура поверхностей разрыва, возникающих в процессе приспособления, носит универсальный характер, т.е. не зависит от деталей начальных распределений. Для описания нестационарного волнового процесса приспособления представлена упрощенная аналитическая модель, основанная на динамических уравнениях в лагранжевых переменных. В

рамках модели показано, что процесс образования разрывов имеет ярко выраженный волновой характер с чередованием фаз гладкости и многозначности. На небольших временах эти фазы следуют с инерционным периодом, т.е. возникает нестационарный пульсирующий фронт. Рассматриваются приложения полученных результатов к динамике шельфовых фронтов в океане и атмосферных прибрежных фронтов.

Заключительная часть лекции посвящена проблеме формирования атмосферных циклонов и антициклонов. Осознание того факта, что эти вихревые образования являются проявлением гидродинамической неустойчивости зональных сдвиговых течений явилось одним из крупнейших достижений метеорологии 20 века. Основное внимание в лекции уделено классической задаче Иди о бароклинной неустойчивости зонального потока с постоянным вертикальным сдвигом. Рассмотрен как классический вариант задачи, основанный на использовании квазигеострофической модели атмосферы, так и негеострофический вариант, основанный на полных примитивных уравнениях динамики. В рамках задачи детально описана структура неустойчивых бароклинных волн со структурой циклонов.

Литература

1. *Hoskins B.J., Bretherton F.P.* Atmospheric frontogenesis models: Mathematical formulation and solution. *J. Atmos. Sci.*, 1972, 29: 11–37.
2. *Ou H.W.* Geostrophic adjustment: A mechanism for frontogenesis. *J. Phys. Oceanogr.*, 1984, 14: 994–1000.
3. *Wu R., Blumen W.* Geostrophic adjustment of zero potential vorticity flow initiated by a mass imbalance. *J. Phys. Oceanogr.*, 1995, 25: 439–445.
4. *Blumen W.* Inertial oscillation and frontogenesis in a zero potential vorticity model. *J. Phys. Oceanogr.*, 2000, 30: 31–39.
5. *Kalashnik M.V.* Formation of fronts and jet streams during geostrophic adjustment in stratified fluid. *Trans. (Doklady) Russian Akad. Sci. / Earth Sci. Section*, 1997, 357 (8): 1261–1265.
6. *Kalashnik M.V.* Geostrophic adjustment and frontogenesis in the continuously stratified fluid. *Dyn. Atmos. Oceans*, 2004, 38 (1): 1–37.

История озонового кризиса

И.К. Ларин

ИНЭП ХФ им. В.Л. Тальрозе РАН, Москва

История озонового кризиса, под которым понимается глобальное уменьшение озонового слоя на несколько процентов в конце прошлого века, замечательна во многих отношениях. Во-первых, впервые обнаружилось, что в наши дни человеческая деятельность приблизилась к масштабам природных процессов и способна повлиять на свойства окружающей среды в глобальном масштабе. Во-вторых, опять-таки впервые, международному сообществу (166 стран в 1987 г., 196 в 2010 г.) при всей его социальной, экономической, интеллектуальной и идеологической неоднородности) удалось выработать коллективные меры по борьбе с экологической угрозой, которые, в конце концов, и привели к успеху. В-третьих, она вызвала небывалый доселе расцвет атмосферной науки и, в частности, чрезвычайно способствовала развитию спутниковых средств мониторинга атмосферы. Наконец, эта история поучительна ещё и потому, что она повторяется сегодня - в связи с новой экологической угрозой — глобальным потеплением: те же контраргументы о цикличности природы, те же подходы (в России во всём винят империалистов), и отсюда — те же ошибки, которые могут привести, а, возможно, уже привели, к непоправимым последствиям. Отсюда следует, что имеет смысл напомнить основные этапы экологического кризиса, который люди смогли преодолеть, чтобы извлечь необходимые уроки и не повторять старых ошибок.

Лабораторные методы исследования атмосферных процессов

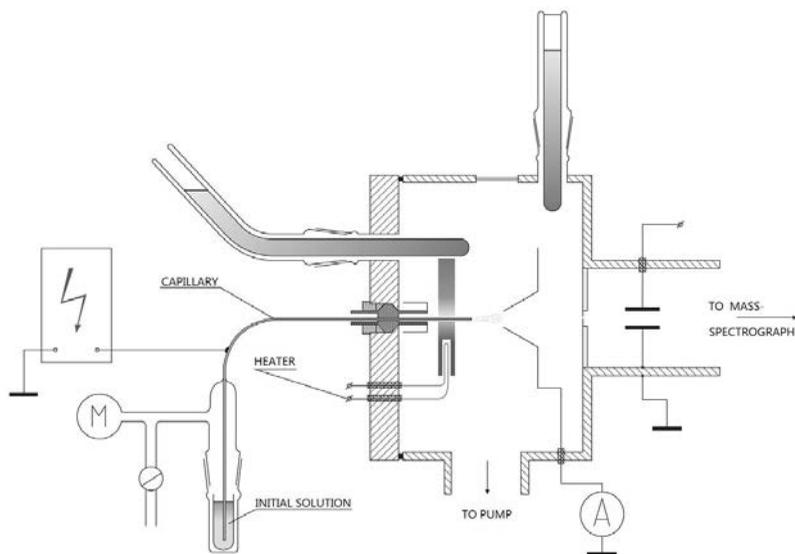
И.И. Морозов

Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

Масс-спектральное и ИК исследования механизмов реакций хлорэтиленов с атомарным хлором в воздухе.

Для изучения реакций атомарного хлора в воздухе были применены современные методы масс-спектрометрии и ИК спектрометрии – FTIR. Кинетические измерения были выполнены при давлении 1013 ± 15 гПа и температуре 298 ± 2 К в синтетическом воздухе в смоговой камере объемом 250 литров (длина камеры 220 см, диаметр 40 см), изготовленной из нержавеющей стали, обработанной электрополировкой. Для фотолиза молекулярного хлора применялись ртутные люминесцентные лампы низкого давления с люминесцентным покрытием внутренней стенки колбы, дающие длинноволновое УФ излучение (Philips TLD-08 ($\lambda_{\max}/\text{нм} \sim 370$)). При фотодиссоциации атомы хлора образовывались в основном электронном состоянии. Температура камеры поддерживалась постоянной во время эксперимента. Анализ реакционной смеси *in situ* проводился с помощью газового хромато-масс-спектрометра Agilent 6890/5973 MC с использованием ХИ. Газовый хроматограф работал в изотермических условиях при температуре 46 °С. Избыточное постоянное давление приблизительно 5 гПа поддерживалось в реакторе, чтобы гарантировать стационарный поток примерно 20 см³/минуту. В цикле напуска в газовый хроматограф отбиралась проба объемом 0.5 см³, которая разбавлялась в 50 раз перед поступлением в хроматографическую колонку. В качестве газа-носителя использовался гелий.

Монреальский и Киотский протоколы обязывает развитые страны и страны с переходной экономикой сократить или стабилизировать выбросы парниковых газов в атмосферу. В соответствии с этим подлежат выводу из круговорота атмосферы хлорфторуглероды, гидрофторуглероды и перфторуглероды. Т.к. при их трансформации в атмосфере образуются токсичные галогенсодержащие кислоты. Эти кислоты представляют серьезную опасность для растительности и животного мира. С помощью передвижной обсерватории «ТРОЙКА-6» в условиях Калмыкии и Северо-запада России обнаружена трихлоруксусная кислота ТХК. В атмосфере галогенсодержащие кислоты поглощаются влагой и гидролизуются. Поведение этих кислот в водных растворах является одной из проблем экологии. Сведения о физико-химических процессах в водных растворах ТХК крайне ограничены. Например, в целом ряде расчётов необходимо учитывать гидратные оболочки ионов и их распределение по массам. Особенно это относится к такому важному параметру как подвижность ионов в воде.



На рисунке изображена схема экспериментов для изучения гидратных оболочек ионов растворов кислот в воде. Поэтому расчеты процессов протекающих в аэрозолях должны учитывать и гидратные оболочки ионов. Применяя новый масс-спектрографический метод электрораспыления растворов электролитов была получена информация о гидратных оболочках галогенсодержащих уксусных кислот в воде.

Литература

1. *Karpov G.V., Morozov I.I., Vasiliev E.S., Strokova N.E., Savilov S.V., Lunin V.V.*, Hydration of negative ions of trichloroacetic acid in aqueous solutions, *Chemical Physics Letters* 586 (2013) 40–43.
2. *Morozov I.I., Vasiliev E.S., Knyazev V.D., Savelieva E.S.* Kinetics and mechanism of the reaction of fluorine atoms with trifluoroacetic acid, *Chem. Phys. Letters*.2011. – 512. стр. 172–177.
3. *Morozov I.I., Vasiliev E.S., Knyazev V.D., Karpov G.V.* Kinetics and mechanisms of the reaction of fluorine atoms with pentafluoropropionic acid, *J. Phys. Chem. A*, 2014, dx.doi.org/10.1021/jp5029382.

Эмпирическое моделирование климата: методы реконструкции фазового пространства по пространственно-распределенным временным рядам

Д.Н. Мухин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

С началом спутниковой эры наблюдается стремительный рост количества данных мониторинга климатической системы Земли. К настоящему времени накоплены значительные по объему базы данных, содержащие пространственно-распределенные временные ряды различных климатических характеристик, с высоким разрешением покрывающие Земной шар. Естественным образом возникают вопросы: (1) могут ли эти временные ряды быть источником информации о законах эволюции, лежащих в их основе, или, другими словами, как эмпирическим путем, без привлечения априорных физических уравнений, реконструировать динамическую систему, описывающую наблюдаемое поведение? (2) Могут ли построенные таким образом эмпирические модели составить конкуренцию современным детальным моделям общей циркуляции атмосферы и океана в смысле качества и дальности прогноза климатических процессов? Разработке эмпирических методов моделирования климата посвящено в последние 20–30 лет огромное количество работ; показана эффективность таких моделей для прогноза индексов различных явлений (ENSO, NOA, PDO и др.). Очевидно, что эмпирическая модель оператора эволюции сложной системы не может быть высокоразмерной, поскольку ограничение на размерность накладывает существенно ограниченная по времени протяженность исследуемой выборки данных. Фактически, такая модель является огрублением полной системы, достаточным для описания характерных свойств наблюдаемой динамики на рассматриваемых временных масштабах. Поэтому основной задачей, от удачного решения которой напрямую зависит успешность моделирования, является выбор динамических переменных, в пространстве которых действует модель: именно этим выбором определяется проекция фазового пространства системы, используемая для реконструкции оператора эволюции. В условиях, когда исследователю доступно огромное количество временных рядов, определяемое количеством узлов пространственной сетки, данная задача становится нетривиальной. В докладе обсуждается проблема эффективного разложения климатических пространственно-распределенных данных с точки зрения выбора оптимального фазового пространства для построения эмпирических моделей. Рассматриваются различные разложения данных, начиная от базиса пространственных эмпирических ортогональных функций и заканчивая нелинейными пространственно-временными преобразованиями. Как на модельных системах, так и на примере анализа эволюции полей поверхностной температуры океана и атмосферного давления на уровне моря за последние 30–50 лет, демонстрируется эффективность различных разложений для прогноза наблюдаемого поведения.

Спиральность в атмосферном пограничном слое

О.Г. Чхетиани^{1,2}

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

² Институт космических исследований РАН, Москва

Одним из проявлений нарушения зеркальной симметрии в природных системах является присутствие спиральных свойств в корреляционных свойствах турбулентных движений. Наряду с энергией спиральность является квадратичным инвариантом движения идеальной жидкости. Характерным примером течения со спиральностью является движение в экмановском слое.

Указания на то, что турбулентность в атмосферном пограничном слое (АПС) обладает спиральностью, были получены впервые в натурных экспериментах, проведенных в Институте физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН. В частности были получены наклоны спектров спиральности близкие к $-5/3$. Интегральные оценки по полученным спектрам объемной плотности спиральности дают её значения $0,02-0,03 \text{ м/с}^2$, что близко по порядку величины к значениям спиральности для мезомасштабной валиковой циркуляции в АПС.

Данные факторы указывают на необходимость учёта спиральности в моделях АПС. Такие модели были построены для нейтрального и температурно-стратифицированного пограничного слоёв. Присутствие спиральности приводит к дополнительным поперечным потокам тепла и импульса на нижней границе пограничного слоя и перенормировке турбулентной вязкости и диффузии. Модифицируется течение Экмана. Учёт турбулентной спиральности приводит к уменьшению угла поворота среднего ветра с высотой по сравнению с классической теорией и увеличению толщины пограничного слоя вследствие эффективного уменьшения турбулентной вязкости.

В задаче об устойчивости экмановского течения в диапазоне $Re = 50-500$ учет спиральности существенно меняет пределы устойчивости, как сдвиговой («параллельной»), так и в окрестности точки перегиба. Заметно меняются и характерные масштабы, и инкременты неустойчивых мод. Стабилизирующее влияние спиральности сохраняется и в нелинейных режимах.

Для турбулентного АПС формирование валиковой структуры можно рассматривать в качестве одного из элементов каскада энергии и спиральности и полученные результаты неплохо согласуются с известными представлениями об ослаблении энергетического каскада в сторону мелкомасштабных мод и преимущественном взаимодействии спиральных мод одного знака и оценками, следующими из данных измерения характеристик турбулентности в пограничном слое атмосферы.

Влияние теплового режима Северной Атлантики на условия термического режима в Республике Татарстан

И.В. Алжирова

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

Предпринятое исследование сводилось к выявлению возможности и уровня надежности долгосрочного прогнозирования январского термического режима в Республике Татарстан (РТ) по тепловому состоянию Северной Атлантики в конце лета (августе).

Информативной базой для выполнения исследования послужили ежегодные (1966–2009 гг.) данные ВНИИГМИ-МЦД о средних январских температурах для 15-ти станций РТ и ежегодные данные NCEP/NCAR реанализа об аномалиях температуры поверхности океана (АТПО) и геопотенциала Н500 в узлах регулярной географической сетки с шагом по широте 2,5° и долготе 2,5°.

В задачи исследования входил следующий круг вопросов:

- анализ особенностей теплового режима Северной Атлантики в конце лета;
- уяснение механизма влияния очагов АТПО на циркуляцию атмосферы и возникновение аномалий термического режима на континенте;
- отбор областей в полях АТПО в августе, заключающих полезную прогностическую информацию относительно условий январского термического режима в РТ;
- тестирование разных методов долгосрочного прогноза январского термического режима в РТ по полю АТПО в августе.

Коротко о методике исследования. Для решения стоявшей задачи все разнообразие январского термического режима было сведено к двум категориям: а) аномально теплые январы, если, как минимум, на 9 станциях из 15, январские аномалии температуры воздуха превышали 1,0°C; б) нетеплые январы (температура января «в норме» или «ниже нормы»), если на менее, чем на 60 % территории РТ январские аномалии температуры воздуха не превышали 1,0°C.

В ходе исследования были получены средние («эталонные») поля АТПО и средние поля геопотенциала Н500 в августе перед аномально теплыми (рис. 1) и нетеплыми (рис. 2) январями.

Установлено, что наиболее существенные различия между полями АТПО проявляются в створе Северо-Атлантического течения. В августе, перед аномально теплыми январями водная поверхность в створе этого течения на 0,5–1,0°C теплее по сравнению с тем же показателем перед нетеплыми январями.

Длительно существующие крупномасштабные очаги АТПО определяют возникновение в тропосфере квазистационарных длинных волн (волн Россби) [2, 3]. При этом на длительное время блокируется западный перенос, а территория РТ (восточнее 48° в.д.) может попадать под воздействие устойчивых меридиональных потоков либо с южной составляющей (рис. 1), либо — с северной (рис. 2).

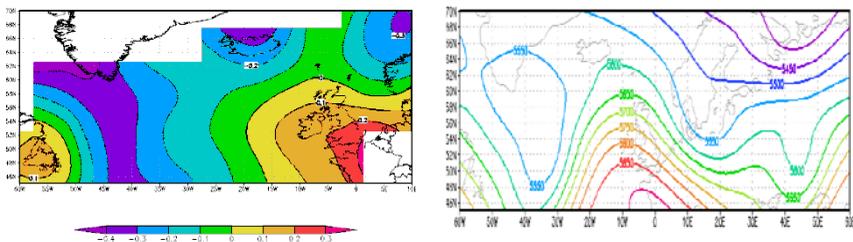


Рис. 1. Средние значения АТПО ($^\circ\text{C}$) (слева) и средние поля H_{500} (гп.м) в августе перед anomalно теплыми январями в РТ

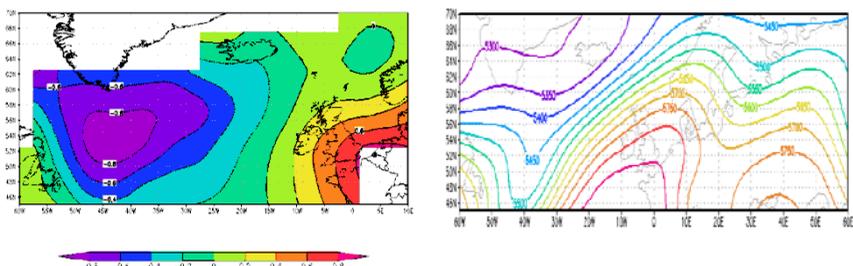


Рис. 2. Средние значения АТПО ($^\circ\text{C}$) (слева) и средние поля H_{500} (гп.м) в августе перед нетеплыми январями в РТ

Апробированы методы линейного и непараметрического дискриминантного анализа [1] для прогнозов термического режима в январе для РТ с четырехмесячной заблаговременностью по полю АТПО в августе, показавшие удовлетворительные результаты: общая оправдываемость первого из них составила 73 %, второго — 80 %, что заметно выше надежности официальных месячных долгосрочных метеорологических прогнозов Гидрометцентра России (69–72 %).

Литература

1. Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Спб.: Гидрометеиздат, 2006. 83 с.
2. Доронин Ю.П. Взаимодействие атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 288 с.
3. Угрюмов А.И. Тепловой режим океана и долгосрочные прогнозы погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 175 с.

О влиянии макроциркуляционных систем на термобарический режим Приволжского федерального округа

Т.Р. Аухадеев, Ю.П. Переведенцев

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

Основное внимание данного сообщения обращено к исследованию изменений барико-циркуляционного режима Северного полушария (СП) и оценке статистических связей между макроциркуляционными системами (NAO, SCAND, AO и др.) и характеристиками давления и температуры воздуха Приволжского федерального округа (ПФО).

Для выполнения исследования использовались среднемесячные данные реанализа NCEP/NCAR по территории СП.

Методами тренд-анализа исследовались временные тенденции метеовеличин, выделение низкочастотной компоненты осуществлялось с помощью низкочастотного фильтра Поттера с точкой отсечения 10 лет и более.

По данным реанализа в узлах сетки и по регионам рассчитывались значения коэффициентов корреляции (КК) между индексами циркуляции, температурой, давлением воздуха.

В результате проведенного исследования получены следующие выводы:

1. Дана оценка коэффициентов наклона линейного тренда (КНЛТ) атмосферного давления (АД) осредненного по территории СП, широтной зоне 30–70°с.ш. и ПФО. Выявлена тенденция понижения АД особенно в ПФО в зимний период (–1,62 гПа/10лет) и слабый рост в летний (0,31 гПа/10лет);
2. На меридиональном разрезе среднегодовые значения КНЛТ атмосферного давления положительны в низких широтах (до 50°с.ш.) и отрицательны в высоких;
3. Наиболее тесная связь между температурой и давлением атмосферного воздуха на территории ПФО устанавливается в холодный период с циркуляционным индексом SCAND;
4. В периоды с активной фазой Эль-Ниньо – Южного колебания значительно усиливаются связи между температурой воздуха и атмосферным давлением и индексом NAO;
5. В результате исследования низкочастотной изменчивости зональной компоненты ветра и приповерхностной температуры в широтной зоне 30–70°с.ш. в период 1948–2013 гг. выявлена ведущая роль циркуляции в формировании изменчивости температуры. Согласно множественным коэффициентам корреляции, вклад скоростей ветра в общую дисперсию температуры в отдельных регионах превосходит 60 %. При этом изменения температуры запаздывают относительно изменений зональной скорости ветра.

Оценка возможностей использования данных о термическом режиме Северной Атлантики для долгосрочного прогнозирования аномалий термического режима в Приволжском федеральном округе

Н.А. Важнова

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

В данной работе анализируются результаты тестирования возможности долгосрочного прогнозирования условий термического режима в Приволжском федеральном округе (ПФО) с учетом состояния термического режима Северной Атлантики.

Указанная задача решалась с использованием простейших методов дискриминантного анализа – метода средних эталонов (МСЭ) и непараметрического дискриминантного анализа (НПДА). Термический режим января в ПФО в указанных прогнозах предусматривался в одном из двух его состояний (классов):

а) «Нехолодный (НХ) январь», – если не менее, чем на 60 % территории округа средняя месячная аномалия температуры воздуха (Δt) ожидалась не ниже, чем минус 1°C ($\Delta t \geq -1,0^\circ\text{C}$);

б) «Аномально холодный (АХ) январь», — если не менее, чем на 60 % территории округа ожидалась аномалия $\Delta t < -1,0^\circ\text{C}$.

Аналогичным образом решалась задача по тестированию возможностей учета аномалий температуры поверхности океана (АТПО) в Северной Атлантике в марте для прогнозирования вышеуказанных состояний термического режима в ПФО в последующем июле.

Информативной базой для решения стоявших задач были многолетние (1955–2009 гг.) архивы средних месячных АТПО в Северной Атлантике в узлах координатной сетки с шагом по широте 5° и по долготе 5° в марте и августе (<http://www.esrl.noaa.gov/>) и ежегодных средних январских и июльских температур воздуха на сети станций округа (данные ВНИИГМИ-МЦД). Технология МСЭ и НПДА предусматривает: а) определение вида средних («эталонных») полей АТПО в месяцах-предикторах (августе (марте)) перед «НХ»-январями (июлями) и «АХ»-январями (июлями) соответственно, б) положения наиболее информативных очагов АТПО (рис. 1).

Основные выводы исследования состоят в следующем:

1. Учет информативных свойств полей АТПО в Северной Атлантике в качестве самостоятельного (и единственного) предсказателя в прогнозах термического режима в ПФО вполне целесообразен, если за методическую основу для прогнозирования использовать МСЭ. Несмотря на значительную заблаговременность (4 месяца) таких прогнозов их «состоятельность» подкрепляется значительными методическими выигрышами их оправдываемо-

сти ΔF (от 8,3 до 12,8 %) и показателями качества прогнозов Н.А. Багрова H , значительно превышающими их нижний порог ($H = 0,250$).

2. Наиболее успешными прогнозами термического режима в ПФО по полю АТПО в августе являются прогнозы на январь (общая оправдываемость $F = 76$ %, общая оправдываемость случайных прогнозов $F_0 = 63,2$ %, $\Delta F = 12,8$ %, $H = 0,347$).

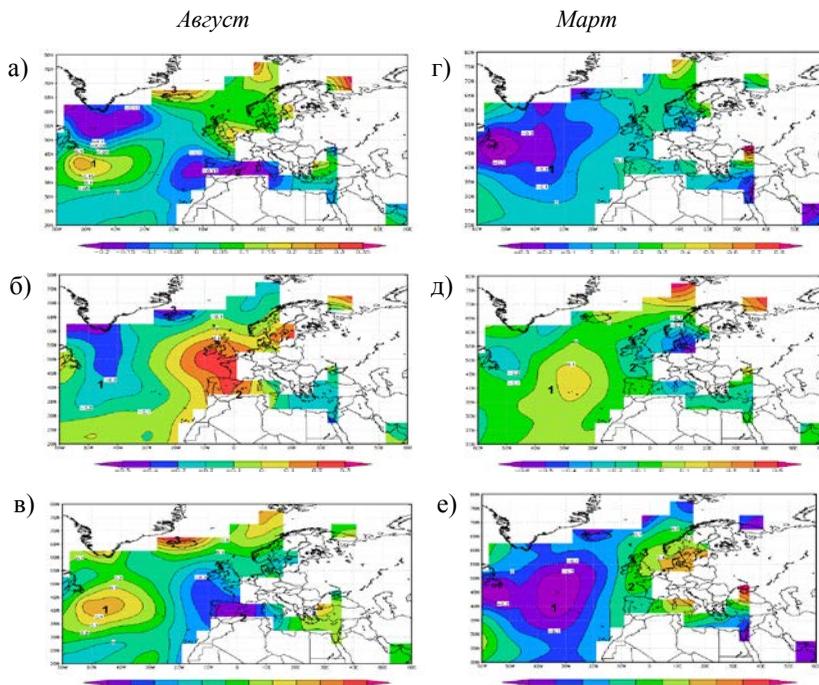


Рис. 1. Средние многолетние («эталонные») (1955 – 2009 гг.) поля АТПО ($^{\circ}\text{C}$) в августе и марте перед НХ-январями (а) и июлями (г) ($\Delta t_{W(HX)}$), перед АХ-январями (б) и июлями (д) ($\Delta t_{W(AX)}$), а также соответствующие им разности $\Delta t_{W(HX)} - \Delta t_{W(AX)}$ в августе (в) и марте (е).

Учет информативных свойств полей АТПО для целей прогнозов условий термического режима в ПФО с использованием метода НПДА наиболее оправдан при разработке прогнозов термического режима на январь ($F = 76$ %, $F_0 = 73$ %, $\Delta F = 3$ %, $H = 0,111$). Аналогичные по содержанию с использованием этого же метода прогнозы на июль оказались уже не столь эффективными ($F = 68$ %, $F_0 = 64,3$ %, $\Delta F = 3,7$ %, $H = 0,103$).

Мезомасштабная циркуляция и спиральность в атмосферном пограничном слое

Н.В. Вазаева, В.Ф. Крамар, Р.Д. Кузнецов, В.С. Люлюкин, О.Г. Чхетиани
Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Рассмотрены результаты акустического зондирования атмосферного пограничного слоя, выполненного в летнее время в экспедициях Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН в аридно-степных зонах юга России в Черноземельском районе республики Калмыкия (2007 г.) [1] и на базе Цимлянской научной станции (2012 г.).

Определены основные характеристики наблюдающихся мезомасштабных квазирегулярных вихревых структур.

Для спиральности крупномасштабных движений получены средние значения ($0,3-0,6 \text{ м/с}^2$), на порядок превосходящие ее независимые измеренные турбулентные значения [2].

Получены оценки для коэффициентов полуэмпирической модели турбулентности, с параметризацией турбулентной спиральности [3].

Литература

1. Гранберг И.Г. и др. Исследование пространственной структуры атмосферного пограничного слоя сетью доплеровских содаров // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45 (5), С. 579–587.
2. Kopriv B.M et al. Helicity of atmospheric turbulence // Международная научная конференция «Турбулентность и волновые процессы», посвященная 100-летию со дня рождения М.Д.Миллионщикова, 26–28 ноября 2013 г. Сборник тезисов М.:ООО «Интуит.ру», 2013. С. 51–53.
3. Пономарев В.М., Чхетиани О.Г. Полуэмпирическая модель пограничного слоя атмосферы с параметризацией влияния турбулентной спиральности // Известия РАН, Физика атмосферы и океана, 2005. Т. 41 (5). С. 418–432.

Сравнительный анализ палеоклиматических реконструкций весенне-летних осадков Зилаирского плато и Бугульминско-Белебеевской возвышенности

Д.Ю. Васильев¹, С.Е. Кучеров²

¹ Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа

² Ботанический Сад-институт УНЦ РАН, Уфа

Используя методы вейвлет и кросс-вейвлет преобразования были проанализированы данные весенне-летних осадков, полученные в результате палеоклиматических реконструкций по радиальному приросту лиственницы Сукачева и сосны, произрастающих на Зилаирского плато и Бугульминско-Белебеевской возвышенности соответственно. Реконструированный период для Зилаирского плато —1631–2005 гг., Бугульминско-Белебеевской возвышенности — 1852–1994 гг. По методике статьи [1], после локализации периодов колебаний на разных временных масштабах, была произведена оценка статистической значимости полученных результатов. Доминирующими и статистически значимыми периодами в осадках Зилаирского плато и Бугульминско-Белебеевской возвышенности оказались циклы в 11 и 22 года. Помимо доминирующих, в спектре мощности анализируемых серий были выявлены короткопериодные (2–7 лет) и длиннопериодные (50–60 лет) циклы.

Аналогично работе [2] при помощи кросс-вейвлетов для установления степени тесноты связи и когерентности колебаний были проанализированы данные атмосферных осадков и солнечной активности (чисел Вольфа). Так же как и в [3], в данной работе были использованы значения основных климатических индексов, Северо-Атлантического и Атлантического мультидекадного колебаний. Оказалось, что долгопериодные колебания осадков хорошо коррелируют с данными чисел Вольфа и Атлантического мультидекадного колебания, а короткопериодные на определенных временных масштабах хорошо согласуются с фазами активности индекса Северо-Атлантического колебания.

Несмотря на в физико-географические различия исследуемых районов, анализ в основном показал идентичные результаты, что свидетельствует о схожести в климатических колебаниях атмосферных осадков Южного Урала.

Литература

1. *Torrence C., Compo G.P.* Practical guide to wavelet analysis. Bull. Amer. Meteor. Soc. 1998. V. 79. № J1. P. 61–78.
2. *Wang J-S., Zhao L.* Statistical tests for a correlation between decadal variation in June precipitation in China and sunspot number // J. Geophys. Res. 2012. V. 117, doi:10.1029/2012JD018074.
3. *Rossi A. Massei N. Laignel B.* A synthesis of the time-scale variability of commonly used climate indices using continuous wavelet transform // Global and Planetary Change. 2011. V. 78, doi:10.1016/j.gloplacha.2011.04.008.

Нелинейные климатические моды: постановка задачи и первые результаты

А.С. Гаврилов, Д.Н. Мухин, Е.М. Лоскутов, А.М. Фейгин
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В докладе будет представлен метод построения нелинейных динамических мод по пространственно-распределенным временным рядам. Понятие базиса эмпирических ортогональных функций, по которым раскладываются наблюдаемые данные, обобщается на нелинейный случай: многомерные данные проектируются не на базис из ортогональных прямых, а на базис из кривых, определяемых неизвестным нелинейным преобразованием. Для реконструкции временных рядов, описывающих эволюцию нелинейных мод, и поиска параметров нелинейного преобразования данных используется байесов подход. Для нахождения структурных параметров преобразования, характеризующих степень его нелинейности, также используется байесов критерий.

Рассматриваются различные способы нелинейной параметризации (искусственные нейронные сети, полиномы). Метод тестируется на существенно нелинейном двумерном примере и затем применяется к пространственно-распределенным временным рядам поверхностной температуры океана. Показывается, что каждая нелинейная мода в общем случае захватывает сразу несколько линейных мод температуры. Таким образом, учет нелинейных связей в данных приводит к более резкому, чем в случае линейного разложения, спаданию распределения полученных мод по энергиям, что дает возможность представления земной климатической системы в виде небольшого числа слабозаимодействующих подсистем.

О дрейфовом движении на границе атмосферных слоев, испытывающих неустойчивость Кельвина-Гельмгольца

А.А. Очиров, Д.Ф. Белоножко

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль

Известно, что движение горизонтальных слоев атмосферы относительно друг друга вызывает развитие неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, разрушающей поверхность их раздела. Причем, на начальной стадии развития неустойчивости инициируется волновое движение, представляющее собой периодическую бегущую волну с нарастающей во времени амплитудой, распространяющуюся по поверхности раздела сред. Волновое движение вызывает сложное движение индивидуальных частиц обеих сред. Во-первых, индивидуальные частички совершают колебательные движения влево-вправо и вверх-вниз в вертикальной плоскости, и их траектория движения получается петлеобразной. Во-вторых, в связи с затуханием волнового движения с уменьшением высоты (с приближением к поверхности Земли), нижняя часть петли траектории индивидуальной частички оказывается короче верхней. Частичка среды, совершив полный оборот по петлеобразному маршруту, возвращается не в исходное положение, а в несколько смещенное относительно его. С течением времени это смещение накапливается и формирует средний дрейф среды. Описанный механизм впервые был проанализирован Дж. Г. Стоксом для объяснения дрейфа, вызываемого распространением гравитационных волн по поверхности океана без учета верхней среды. Установленный Стоксом механизм инициации дрейфового движения реализуется, в том числе на начальной стадии развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. Это означает, что индивидуальные частички сред, прилегающие к границе раздела, испытывающей неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, вместе со всеми примесями вовлекаются в дрейфовое движение.

В настоящем сообщении предлагаются результаты математического моделирования дрейфового движения, связанного с внутренними волнами в двухслойной среде. Рассматривалась задача расчета траекторий индивидуальных частиц в системе из двух горизонтальных атмосферных слоев. Нижний прилегающий к Земле слой считался неподвижным, а верхний – движущимся с заданной скоростью. Исследовалась эволюция периодического волнового возмущения на границе слоев. Задача решалась аналитически в рамках модели идеальной жидкости, во втором приближении по амплитуде волнового движения. Рассчитывалось поле скоростей в нижней среде и дрейфовая добавка к постоянной скорости в верхней среде. Для расчета скорости индивидуальных частиц обеих сред применялась известная инте-

гральная асимптотическая формула, позволяющая перейти от эйлера описания поля скоростей к лагранжевому.

В рамках рассмотренной модели выяснилось, что в процессе развития неустойчивости частички нижнего слоя дрейфуют в направлении распространения волны с нарастающей со временем скоростью. Нарастание скорости происходит пропорционально квадрату амплитуды волнового возмущения, размах которой нарастает со временем по закону развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. Скорость дрейфа максимальна вблизи границы раздела и экспоненциально уменьшается при переходе на более низкие уровни слоя.

При расчете дрейфа частичек в верхней среде, изначально имеющей некоторую постоянную скорость, важно учитывать область применимости интегральной формулы перехода от эйлера описания к лагранжевому. Дело в том, что эта формула справедлива, только если частички среды за характерное время волнового движения смещаются в выбранной системе отсчета на расстояние порядка амплитуды волны. Если находиться в неподвижной системе отсчета, связанной с нижней средой, то это условие не выполняется для частичек верхней среды, участвующих в общем горизонтальном движении. Для правильного расчета необходим переход в систему отсчета, связанную с движущимся верхним слоем. При переходе из неподвижной системы отсчета в движущуюся возникает еще одна расчетная особенность задачи. Все формулы, которые содержат частоту волнового движения, рассчитанную в неподвижной системе отсчета, следует изменить таким образом, чтобы в новой движущейся системе отсчета частота преобразовалась в соответствии с известным законом Доплера. Без учета этого факта вычисления приводят к физически нелепым результатам. С учетом всех тонкостей расчета выяснилось, что в верхнем слое появляется дрейфовое движение частичек среды направленное в сторону, противоположную начальной постоянной скорости верхнего слоя. Скорость этого противодрейфового движения экспоненциально уменьшается с высотой.

Таким образом, развита модель, которая описывает не только колебательное движение индивидуальных частиц среды и примеси вблизи границы раздела горизонтальных атмосферных слоев, претерпевающих неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, но и дрейфовое движение индивидуальных частиц среды вдоль разрушающейся поверхности раздела. Построенную модель можно рассматривать, как удобное для дальнейшего уточнения аналитическое начальное приближение решения задачи об описании дрейфовых свойств в системах подобного рода.

Региональная химическая транспортная модель ГГО и её практическое применение

*Д.Ю. Румянцев, Е.Л. Генихович, И.Г. Грачёва, Е.А. Яковлева,
Р.И. Оникул, А.Д. Зив*

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, С.-Петербург

Появление в середине 20-го века компьютеров сделало актуальной проблему численного моделирования протекающих в атмосфере процессов и прогнозирования их развития в пространстве и во времени. С тех пор в мире возникло огромное количество разнообразных математических моделей, в том числе, и моделей переноса загрязняющих веществ в атмосфере. В России, несмотря на всё возрастающую актуальность проблем, связанных с прогнозированием так называемой «химической погоды» в городах и регионах, в данном вопросе наблюдается некоторое отставание от общемировых тенденций, следствием чего является необходимость создания надёжной отечественной системы компьютерного моделирования переноса примесей. Подобная модель может применяться для решения широкого круга прикладных задач, начиная от оперативного прогнозирования состояния атмосферы над городами (с использованием дополнительных стохастических надстроек) и заканчивая созданием интегрированной модели, способной учитывать эффекты обратной связи концентраций малых газовых примесей и параметров климатической системы планеты.

В Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) была разработана собственная региональная химическая транспортная модель (ХТМ), основанная на численном решении системы уравнений атмосферной диффузии, каждое из которых записано для концентрации одной из рассматриваемых примесей. Для численного решения задачи использовано сочетание метода расщепления по физическим процессам и метода сеток [1, 2, 3]. В ХТМ ГГО имеются схемы учёта химических трансформаций (СВМ4), сухого и влажного осаждения и гравитационного оседания примесей, вымывания их осадками. Адвективные члены уравнения аппроксимированы с использованием метода Гальперина [3, 4].

С помощью ХТМ ГГО производилось моделирование распространения факела от г. Санкт-Петербурга с учётом промышленных и автотранспортных источников, изучались сценарии гипотетического радиоактивного выброса от Ленинградской АЭС при различных синоптических условиях, проводилось исследование ситуаций после крупных эмиссий загрязняющих веществ от атомной электростанции Фукусима и вулкана Гримсвотн. Разработана методика валидации химических транспортных моделей с учётом стохастического характера атмосферного переноса и произведена по данным трассерных экспериментов CAPTEX (1983 г.) [5] и ANATEX (1987 г.,

США) [6]. Ведутся активные работы по созданию интегрированной системы ХТМ ГГО — Региональная климатическая модель ГГО с целью глубокого изучения взаимосвязей режима атмосферного переноса примесей, в том числе, парниковых газов, и ожидаемых климатических изменений.

Литература

1. *Марчук Г.И.* Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеоиздат. 1982. 303 с.
2. *Берлянд М.Е.* Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат. 1975. 448 с.
3. *Galperin M., Genikhovich E., Sofiev M., Gracheva I., Vira J., Soares J.* Meso-to-global modeling of atmospheric transport: numerical recipes, tests and applications // In: D. G. Steyn, S. T. Rao (Eds.) *Air Pollution Modeling and its Application XX*. Springer. 2010. P. 147–150, ISBN: 978-90-481-3811-1.
4. *Galperin M.* Approaches for improving the numerical solution of the advection equation // In: Z. Zlatev, J. Dongarra, I. Dimov, J. Brandt, P. J. Builtjes, (Eds). *Large Scale Computations in Air Pollution Modeling*. 1999. P. 161–172.
5. CAPTEX'83 Cross-Appalachian Tracer Experiment (CAPTEX '83) Final Report // NOAA Technical Memorandum ERL ARL-142. Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland. 1986. 60 p.
6. Across North America Tracer Experiment (ANATEX) Volume 1: Description, Ground-Level Sampling at Primary Sites, and Meteorology // NOAA Technical Memorandum ERL ARL-167. Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland. 1989. 89 p.

Взаимодействие океана и атмосферы и его связь с изменениями скорости вращения Земли

Р.С. Салугашвили

ВНИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Обнинск

В настоящее время происходят глобальные изменения климата, которые связывают как с антропогенным влиянием хозяйственной деятельности человека, так и с естественными колебаниями в климатической системе. В настоящее время наблюдается рост экстремальных климатических явлений. Неустойчивость в климатической системы, которая потенциально может порождать крупные аномалии гидрометеорологических характеристик, а также экстремальные климатические явления, во многом обуславливается влиянием океана. Поэтому исследования связанные с изучением влияния океана на климат очень актуальны.

Основной вклад в изменчивость на больших масштабах времени вносит взаимодействие океана и атмосферы. Изменение взаимодействия океана и атмосферы является внутренним собственным фактором климатической системы, на который также могут влиять и внешние факторы. Так на вертикальное и отчасти горизонтальное перемешивание, в верхнем слое океана может влиять такой геофизический фактор, как колебание скорости вращения Земли. Так в работе [1] показано, что температура в Европе имеет устойчивую значимую связь с температурой поверхности океана в районах пересечения морскими течениями островных цепей и океанических хребтов, а в работе [2], также в этих же районах океана обнаружена значимая связь температуры поверхности океана с колебаниями скорости вращения Земли.

Аспект взаимодействия океана и атмосферы и его изменения в связи с изменением скорости вращения Земли рассматривается в данной работе.

Литература

1. *Салугашвили Р.С.* Дальние связи колебаний температуры воздуха Европейской территории России в эпоху интенсивного глобального потепления в конце XX – начале XXI века. // «Метеорология и гидрология» 2013, №1, С. 57–66.
2. *Салугашвили Р.С.* Проявление естественных циклов в колебаниях регионального климата // Тезисы докладов Международной научной конференции по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Казань, 2–5 октября 2012 г. С. 197.

Исследование годографов ветра во влажной атмосфере

Ю.А. Семенова, Р.Г. Закиян

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь

Исследование профиля ветра является актуальной задачей физики атмосферы. В данной работе разработана математическая модель профиля ветра в пограничном слое атмосферы в результате решения следующей системы уравнений:

$$(\partial p / \partial x) / \rho = v (\partial^2 u / \partial z^2) + 2(v \omega_{0z} - w \omega_{0x}),$$

$$(\partial p / \partial y) / \rho = v (\partial^2 v / \partial z^2) + 2(w \omega_{0x} - u \omega_{0z}).$$

В отличие от стандартной модели полученная модель более точно характеризует изменение ветра по высоте, вследствие учета различной ориентации изобар, а также влажности воздуха.

Для сухой атмосферы составляющие скорости равны:

$$u = u_g (1 - e^{-kz} \cos kz) - v_g e^{-kz} \sin kz,$$

$$v = v_g (1 - e^{-kz} \cos kz) + u_g e^{-kz} \sin kz.$$

Составляющие скорости геострофического ветра в сухой атмосфере равны $u_g = -(\partial p / \partial y) / (\rho l)$, $v_g = -(\partial p / \partial x) / (\rho l)$.

Для влажной атмосферы составляющие скорости равны:

$$u_v = u_{gv} (1 - e^{-kz} \cos kz) - v_{gv} e^{-kz} \sin kz,$$

$$v_v = v_{gv} (1 - e^{-kz} \cos kz) + u_{gv} e^{-kz} \sin kz.$$

Составляющие скорости геострофического ветра во влажной атмосфере равны:

$$u_{gv} = 2R [T(\alpha\gamma_2 + \beta b_2) + \gamma_2] / (vl),$$

$$v_{gv} = -2R [T(\alpha\gamma_1 + \beta b_1) + \gamma_1] / (vl).$$

Проанализированы различные синоптические ситуации, для которых построен годограф ветра.

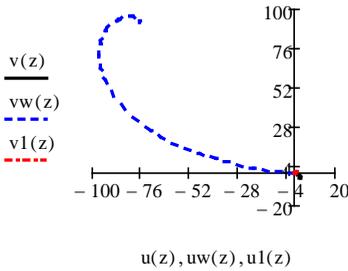
Приведем пример: 23 марта 2013 года — усиление ветра до 18–22 м/с.

Прогноз: днем взаимодействие ложбины южного циклона и юго-западной периферии антициклона. Вечером ослабление взаимодействия.

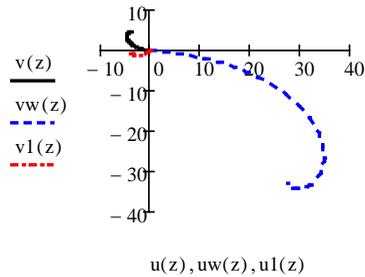
Фактически: на 03 часа UTC скорость ветра — 18–22 м/с, 15 часов UTC скорость — 15–18 м/с.

Оценивая годографы для различных синоптических ситуаций можно сделать следующие выводы: при скоростях ветра 80–100 м/с на высотах можно ожидать усиление ветра до неблагоприятных отметок; при скоростях — 120–200 м/с следует ожидать опасные явления погоды (сильный

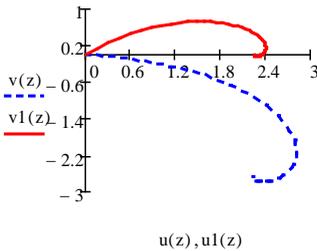
ливень, очень сильный дождь), либо комплекса метеорологических явлений (сильный дождь, ливень, град гроза и (или) усиление ветра до 25 м/с).



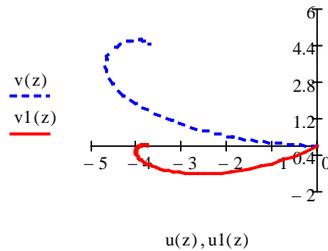
03 часа ВСВ



15 часов ВСВ



03 часов ВСВ – увеличенная стандартная и полученная нами при различной ориентации изобар модели



15 часов ВСВ – увеличенная стандартная и полученная нами при различной ориентации изобар модели

Литература

1. Семенова Ю.А. Изменение профиля ветра во влажной атмосфере // Сборник тезисов, материалы Двадцатой Всероссийской научной конференции студентов - физиков и молодых ученых (ВНКСФ-20, Ижевск). Екатеринбург – Ижевск: Изд. АСФ России, 2014. С. 445–446.

Использование простого индекса для оценки изменений условий смерчегенеза на территории России

А.В. Чернокульский, М.В. Курганский, И.И. Мохов
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

Одно из последствий изменения климата в регионах Северной Евразии - активизация конвективных процессов, рост повторяемости кучево-дождевых облаков, грозовых явлений, ливневых осадков [1, 2]. Возможным последствием климатических изменений может быть рост повторяемости таких опасных погодных явлений, как воздушные смерчи (торнадо). В данной работе была проведена оценка изменения условий смерчегенеза на территории Северной Евразии по различным данным (наземные наблюдения, реанализ, модельные расчеты) для современного климата и для климатических проекций на 21 век.

В качестве просто вычисляемого по наблюдательным и модельным данным, но эффективного индекса смерчегенеза предложено использовать так называемый 3D-индекс (Dewpoint, Dewpoint Depression Index):

$$3D = T_{dew} - (T - T_{dew}),$$

где T – приземная температура воздуха и T_{dew} – соответствующая температура точки росы. Исходно 3D-индекс был предложен профессором Г. Дарковым (G. Darkow) из Университета Миссури-Колумбия, США, и доказал свою эффективность в выделении метеорологических ситуаций с грозовой активностью в теплый летний период на Среднем Западе США, если значение индекса превышает определенное критическое значение (близкое к 15.5°C; исходно этот индекс вычислялся в градусах Фаренгейта). Было обнаружено, что для воздушного смерча в районе г. Ханты-Мансийска (61° с.ш.) в Западной Сибири [3], случившегося 12 июня 2012 г. именно в этот день и именно в этом месте наблюдались сверхкритические значения 3D-индекса (17.1°C) (Рис 1).

Была оценена климатология индекса 3D и было отмечено хорошее согласие различных данных. По наземным наблюдениям и данным реанализа отмечен статистически значимый рост индекса 3D над северными регионами России. Анализ модельных результатов показал, что этот рост может продолжиться в 21 веке. По данным реанализа также проведен анализ межгодовых изменений индекса CAPE (convective available potential energy), характеризующего величину доступной конвективной энергии. Отмечен рост индекса CAPE в последние десятилетия (главным образом, на севере Европейской территории России). Выявлена высокая корреляция индекса 3D и индекса CAPE, как пространственная (на уровне климатологий), так и временная (корреляция положительная (на уровне 0,2–0,6) и статистически

значимая как на уровне межгодовых колебаний средних за летний период значений индексов, так и их срочных значений в пределах одного сезона).

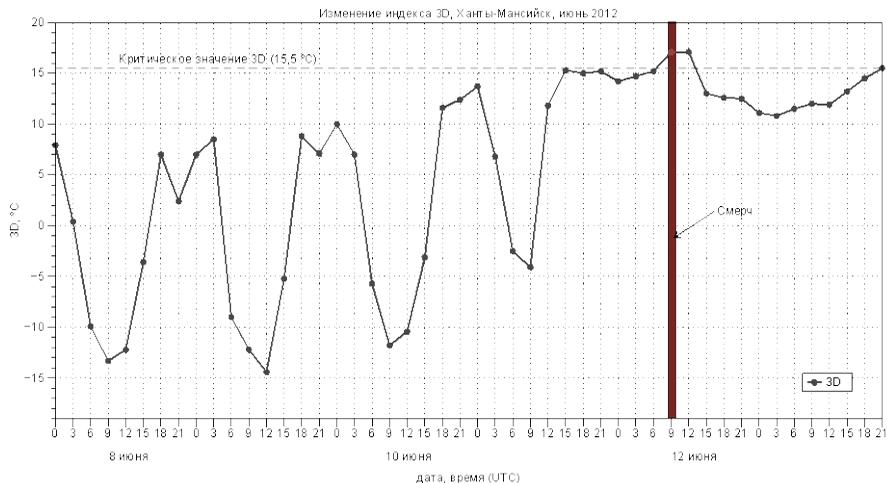


Рис. 1. Изменение во времени 3D-индекса, г. Ханты-Мансийск, июнь 2012 г.

Простота расчета индекса 3D делает его более устойчивым к систематическим ошибкам, которые могут быть связаны с недостаточно точными расчетами параметров средней тропосферы в ре-анализах и климатических моделях. В то же время использование данного индекса может быть ограничено регионально. В частности в муссонных регионах юга Дальнего Востока России значения 3D существенно надкритические; либо там должно использоваться другое пороговое значение индекса.

Литература

1. Chernokulsky A.V., Bulygina O.N. and Mokhov I.I. Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations // Environmental Research Letters. 2011. V.6. N.3. P. 035202.
2. Чернокульский А.В., Булыгина О.Н., Лупо Э.Р., Мохов И.И., Тимажев А.В. Оценка риска пожароопасности в регионах России // Труды конференции молодых специалистов по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Издательство НПО «Тайфун», Обнинск. 2013. С. 349–352.
3. Курганский М.В., Чернокульский А.В., Мохов И.И. Смерч под Ханты-Мансийском: пока исключение или уже симптом? // Метеорология и гидрология. 2013. № 8. С. 40–50.

Водные растворы галогенсодержащих кислот

Г.В. Карпов, О.А. Виноградова, А.С. Панасюк, Е.С. Васильев, И.И. Морозов
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

Монреальский и Киотский протоколы обязывают развитые страны и страны с переходной экономикой сократить или стабилизировать выбросы парниковых газов в атмосферу. В соответствии с этим подлежат выводу из круговорота атмосферы хлорфторуглероды, гидрофторуглероды и перфторуглероды. Т.к. при их трансформации в атмосфере образуются токсичные галогенсодержащие кислоты. Эти кислоты представляют серьезную опасность для растительности и животного мира. С помощью передвижной обсерватории «ТРОЙКА-6» в условиях Калмыкии и Северо-запада России обнаружена трихлоруксусная кислота (ТХК). В атмосфере галогенсодержащие кислоты поглощаются влагой и гидролизуются. Поведение этих кислот в водных растворах является одной из проблем экологии. Сведения о физико-химических процессах в водных растворах ТХК крайне ограничены. Например, в целом ряде расчётов необходимо учитывать гидратные оболочки ионов и их распределение по массам. Особенно это относится к такому важному параметру как подвижность ионов в воде.

Поэтому расчеты процессов протекающих в аэрозолях должны учитывать и гидратные оболочки ионов. С применением нового масс-спектрографического метода электрораспыления растворов электролитов была получена информация о гидратных оболочках галогенсодержащих уксусных кислот в воде.

Литература

1. *Karpov G.V., Morozov I.I., Vasiliev E.S., Strokova N.E., Savilov S.V., Lunin V.V.* Hydration of negative ions of trichloroacetic acid in aqueous solutions // *Chemical Physics Letters*. 586 (2013). P. 40–43.
2. *Morozov I.I., Vasiliev E.S., Knyazev V.D., Savelieva E.S.* Kinetics and mechanism of the reaction of fluorine atoms with trifluoroacetic acid // *Chem. Phys. Letters*. 512 (2011). P. 172–177.
3. *Morozov I.I., Hermann H., Lazarou Ya., S. Gligorovski, Vasiliev E.S.* Hydroxyl Radical Reactions with Halogenated Ethanol in Aqueous Solution: Kinetics and Thermochemistry // *International Journal Chemical Kinetics*. Wiley, 2008. P. 175–188.

Атмосферные реакции галогенсодержащих кислот

Г.В. Карнов, А.С. Панасюк, Е.С. Васильев, И.И. Морозов
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

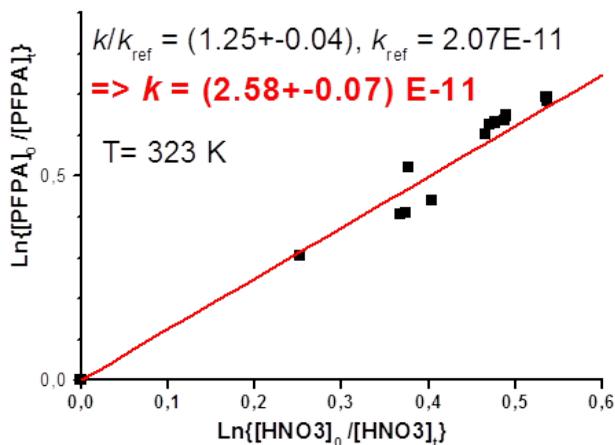
В прошедшее десятилетие в связи с развитием чувствительных методов анализа было обнаружено присутствие перфторированных карбонильных кислот (PFCAs) во многих средах. В промышленных странах в дождевых и снеговых осадках наблюдается наличие в малых количествах перфторированных химикатов. Присутствие ряда соединений, таких как PFOS и PFOA, было обнаружено во многих регионах Земли в значительном количестве объектов живой природы. Анализируя осадки в двух районах Японии [1], было обнаружено присутствие целого ряда перфторированных соединений. В наибольшем количестве присутствовали PFCAs, содержащие два и три атома углерода (C₂, C₃), — трифторуксусная (TFA) и пентафторпропионовая кислоты (PFPrA) [2], с максимальными концентрациями 75,9 нг/л и 10,3 нг/л, соответственно. В Китае в дельте реки Янцзы в осушенных отложениях вод был обнаружен ряд перфторированных кислот (PFAs). В наибольших количествах, как правило, также присутствовали именно TFA и PFPrA, в концентрациях в диапазоне 107–562 нг/г и 4,41–395 нг/г, что соответствует 12–93 % и 0,7–61 % от общего количества PFAs.

Источники появления PFCAs недостаточно хорошо известны. Объем источников промышленного происхождения оценивается в несколько тысяч тонн в год (3200–7300 тонн), при этом предполагают, что основные источники не прямые, а проистекающие из превращений производимых фторполимеров [3].

Известно незначительное количество данных о кинетике реакций с участием PFPrA. В 1982 году были получены данные об образовании кислоты при термическом распаде этилового эфира пентафторпропионовой кислоты при температурах 626–686 К [4]. В последнее десятилетие в [5–6], авторами получены данные по кинетике реакций с участием атома хлора и радикала OH. В работе 2003 г. получена оценка константы скорости реакции Cl и PFPrA ($< 1.0 \times 10^{-17}$ см³/молекула/с) при 296 К. В работе 2004 г. был установлен канал с образованием PFPrA в реакции при участии двух радикалов C₂F₅C(O)O₂ и HO₂ и получено значение константы скорости реакции радикала OH с кислотой ($k = (1,69 \pm 0,22) 10^{-13}$ см³/молекула/с) при 296 К. Эксперименты выполняли с использованием масс-спектрометра с модулированным молекулярным пучком. Применялся проточный реактор, соединенный с масс-спектрометром.

В настоящей работе представлено первое определение при комнатной температуре константы скорости реакции $F + C_2F_5COOH \rightarrow$ Продукты. Для этого была подобрана подходящая конкурирующая реакция

$F + HNO_3 \rightarrow$ Продукты. На графике (рисунок) константы скорости реакции в единицах $см^3/молекула/с$.



Также впервые представлена температурная зависимость в диапазоне температур 262–343 К. Данные получены не в результате прямых измерений, а методом с использованием реакции сравнения, реакции атома F с HNO_3 .

Литература

1. *Morozov I.I., Vasiliev E.S., Knyazev V.D., Karpov G.V.* Kinetics and mechanisms of the reaction of fluorine atoms with pentafluoropropionic acid, *J.Phys.Chem.A*, 2014, dx.doi.org/10.1021/jp5029382.

УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

А. К. Аветисов	35	А. Н. Ермаков	74
И. В. Алжирова	85	М. В. Жарашуев	14, 15
А. Е. Алоян	72, 74	А.А. Жидков	68
С. В. Анисимов	23, 42, 50 51, 64, 69	Р. Г. Закинян	98
А. Я. Арабов	9	Л.М. Зелёный	43
М. М. Аржанов	12	А. Д. Зив	95
В. О. Арутюнян	74	Н. В. Ильин	52, 77
А. А. Архангельская	8	М. В. Калашник	78
Т. Р. Аухадеев	87	А. В. Калинин	47
К. В. Афиногенов	23, 51	М. А. Каллистратова	6
М. В. Беликович	28	Г. В. Карпов	102, 103
Д. Ф. Белоножко	93	З. М. Князева	16
А. Н. Боровский	9, 10	Н. В. Козлова	35
В. П. Будак	38	Н. Ю. Колбнева	54
А. А. Булатов	11	Л. И. Коломеец	56
Д.И. Вавилов	43	И. В. Королев	58
Н. А. Важнова	88	А. И. Котума	36
Н. В. Вазаева	90	М. А. Кошелев	31
Д. Ю. Васильев	91	В. Ф. Крамар	90
Е. С. Васильев	102, 103	Р. Д. Кузнецов	6, 90
И. Н. Вилков	31	М. Ю. Куликов	27
О. А. Виноградова	102	М. В. Курганский	100
А. С. Гаврилов	92	Ф. А. Кутерин	11
С. В. Галиченко	50	С. Е. Кучеров	91
Е. Л. Генихович	95	И. К. Ларин	80
М. Е. Горбунов	26	А. К. Лемищенко	29
В.М. Готлиб	43	Е. М. Лоскутов	92
И. Г. Грачёва	95	В. С. Люлюкин	90
А. С. Грицун	76	Д. С. Макаров	31
А. В. Гурьев	23	Е. А. Мареев	48, 52
Р. А. Гятов	16	И. Х. Машуков	59
С. О. Дементьева	52	Х. Х. Машуков	61
С. Н. Денисов	12	К. Б. Моисеенко	22
Э. М. Дмитриев	23, 42	И. И. Морозов	81, 102, 103
М. П. Дмитриева	35	И. И. Мохов	100
М.С. Долгоносков	43	Д. Н. Мухин	28, 30, 83, 92
А. А. Евтушенко	45	П. М. Нагорский	66
А. С. Еланский	9	Л. А. Обвинцева	35
А. С. Елохов	9, 10	Р. И. Оникул	95
		А. С. Отарова	61

А. А. Очиров	93	А. Е. Солодина	18
А. А. Палей	18	Н.Н. Слюняев	68
А. С. Панасюк	102, 103	О. П. Старостина	20
И. Н. Панчишкина	58	И. П. Сухарева	35
В. В. Паршин	31	М. Ю. Третьяков	31
Ю. П. Переведенцев	87	А. М. Фейгин	28, 92
В. В. Перекатова	30	М. М. Хурамшина	34
Г. Г. Петрова	20	Т. Б. Цыркина	35
Д. А. Петров	32	М. Ю. Червяков	36
Н. А. Петрушов	63	М. В. Черепова	21
О. В. Постыляков	10	А. В. Чернокульский	100
А. А. Прохорчук	64	О. Г. Чхетиани	84, 90
К. Н. Пустовалов	66	О. В. Шагалов	38
Д. Ю. Румянцев	95	И. Ю. Шалыгина	8
Р. С. Салугашвили	97	Н. М. Шихова	69
Ю. А. Семенова	98	Ю. В. Шлюгаев	11
Е. А. Серов	31	Ю. А. Штабкин	22
Ю. А. Скляр	36	Е. А. Яковлева	95
С. П. Смышляев	21, 29, 56	Ү. Канауа	10

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ _____	3
ПРЕДИСЛОВИЕ _____	4
НАБЛЮДЕНИЯ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В АТМОСФЕРЕ. АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ. РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ	
<i>М.А. Каллистратова, Р.Д. Кузнецов</i> Гравитационно-сдвиговые волны в атмосферном пограничном слое _____	6
<i>А.А. Архангельская, И.Ю. Шалыгина</i> Изменчивость и прогнозирование приземного озона в Московском регионе _____	8
<i>А.Н. Боровский, А.Я. Арабов, А.С. Еланский, А.С. Елохов</i> Сравнение рядов общего содержания двуоксида азота на Северном Кавказе из измерений характеристик прямого и рассеянного солнечного излучения _____	9
<i>А.Н. Боровский, А.С. Елохов, О.В. Постыляков, У. Капауа</i> Об измерении интегрального содержания формальдегида в тропосфере _____	10
<i>А.А. Булатов, Ю.В. Шлюгаев, Ф.А. Кутерин</i> Многоточечная грозопеленгационная система в Нижегородской области _____	11
<i>М.М. Аржанов, С.Н. Денисов</i> Потоки метана в тундровых экосистемах по модельным оценкам и данным наблюдений _____	12
<i>М.В. Жарашуев</i> Новая методика идентификации засева градовых облаков _____	14
<i>М.В. Жарашуев</i> Статистические исследования градовых процессов, развивающихся в Ставропольском крае в ночное время суток _____	15
<i>З.М. Князева, Р.А. Гятов</i> Статистический анализ метеоданных, полученных на территории Краснодарского края _____	16
<i>А.Е. Солодина, А.А. Палей</i> Техногенные субмикронные аэрозоли в атмосфере _____	18
<i>О.П. Старостина, Г.Г. Петрова</i> Экспериментальные исследования факторов, определяющих электрическую структуру приземного слоя _____	20
<i>М.В. Черепова, С.П. Смышляев</i> Диагностическое и прогностическое моделирование распределения малых газовых составляющих на территории Российской Федерации _____	21
<i>Ю.А. Штабкин, К.Б. Моисеенко</i> Оценки влияния дальнего переноса на приземное содержание CO, NO _x и O ₃ по данным высотной мачты ZOTTO в центральной Сибири _____	22
<i>С.В. Анисимов, К.В. Афиногенов, А.В. Гурьев, Э.М. Дмитриев</i> База данных среднеширотной Геофизической обсерватории «Борок» как информационный ресурс для исследований в области глобальной электрической цепи _____	23

ДИНАМИКА ФОТОХИМИЧЕСКИХ И РАДИАЦИОННЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

М.Е. Горбунов

Систематические ошибки радиозатменного метода зондирования атмосферы _____ 26

М.Ю. Куликов

Исследование фотохимических процессов,
протекающих с участием частиц полярных мезосферных облаков _____ 27

М.В. Беликович, Д.Н. Мухин, А.М. Фейгин

Влияние распределения водяного пара в тропосфере
на восстановление термической структуры средней атмосферы
по данным наземного радиометрического зондирования _____ 28

А.К. Лемещенко, С.П. Смышляев

Моделирование влияния солнечной активности на межгодовую изменчивость
содержания озона и температуры атмосферы _____ 29

В.В. Перекатова, Д.Н. Мухин

Оптимизация метода восстановления профиля озона
по данным радиометрических измерений _____ 30

М.А. Кошелев, И.Н. Вилков, Д.С. Макаров, Е.А. Серов, В.В. Паршин, М.Ю. Третьяков

Анализ профиля 60-ГГц полосы поглощения кислорода:
эксперимент и моделирование _____ 31

Д.А. Петров

О влиянии стохастических интегральных обратных связей в энергобалансовых
моделях климата на спектр флуктуаций осредненной глобальной температуры ____ 32

М.М. Хураמיшина

О применимости механизма RАСМ для численного моделирования химического
состава воздуха Москвы в условиях устойчивой стратификации атмосферы _____ 34

*Т.Б. Цыркина, Л.А. Обвинцева, Н.В. Козлова, И.П. Сухарева, М.П. Дмитриева,
А.К. Аветисов*

Гибель озона и хлористого водорода на веществах
твердого атмосферного аэрозоля _____ 35

М.Ю. Червяков, Ю.А. Складаров, А.И. Котума

Взаимосвязь температуры поверхности океана
с поглощённой солнечной радиацией на верхней границе атмосферы _____ 36

В.П. Будаков, О.В. Шагалов

Решение уравнения переноса излучения для стратифицированной модели
плоского слоя мутной среды квазидвухпоточковым методом _____ 38

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Э.М. Дмитриев, С.В. Анисимов

Электричество приземного слоя атмосферы _____ 42

М.С. Долгоносков, В.М. Готлиб, Д.И. Вавилов, Л.М. Зелёный

УКВ радиоизлучение от грозových разрядов,
регистрируемое микроспутником «Чибис-М» _____ 43

А.А. Евтушенко

Электрические разряды и химия атмосферы _____ 45

<i>А.В. Калинин</i> Аналитические результаты теории классического электродного эффекта в атмосфере _____	47
<i>Е.А. Мареев</i> Физика молнии: новые результаты и нерешенные проблемы _____	48
<i>С.В. Галиченко, С.В. Анисимов</i> Стохастическое моделирование турбулентной электродинамики пограничного слоя атмосферы _____	50
<i>К.Ф. Афиногенов, С.В. Анисимов</i> Наблюдения вариаций электрической проводимости приземного слоя атмосферы _____	51
<i>С.О. Деметьева, Н.В. Ильин, Е.А. Мареев</i> Расчет электрических параметров грозового облака в численных моделях высокого разрешения _____	52
<i>Н.Ю. Колбнева</i> Электромагнитное излучение от незаряженной капли, осциллирующей в электростатическом поле _____	54
<i>Л.И. Коломеец, С.П. Смышляев</i> Моделирование обратных связей между грозовой активностью, составом атмосферы и изменением погоды и климата _____	56
<i>И.В. Королев, И.Н. Панчишкина</i> Возможность использования атмосферно-электрических измерений при проведении мониторинга загрязнения атмосферного воздуха _____	58
<i>И.Х. Мацуков</i> Вариации напряженности электрического поля у земли и их влияние на больных гипертонией и сердечно-сосудистыми заболеваниями _____	59
<i>А.С. Отарова, Х.Х. Мацуков</i> Исследование влияния грозовой деятельности на содержание соединений азота в атмосферных осадках _____	61
<i>Н.А. Петрушов</i> Устойчивость осцилляций поверхности сильно заряженной капли в электростатическом подвесе _____	63
<i>А.А. Прохорчук, С.В. Анисимов</i> Унитарная вариация аэроэлектрического поля по результатам наземных натурных наблюдений среднеширотной обсерватории _____	64
<i>К.Н. Пустовалов, П.М. Нагорский</i> Динамика электрических параметров приземной атмосферы при прохождении облаков различных форм _____	66
<i>Н.Н. Слюняев, А.А. Жидков</i> Влияние особенностей источников глобальной цепи на ионосферный потенциал _____	68
<i>С.В. Анисимов, Н.М. Шихова</i> Скейлинг аэроэлектрического поля и тока по данным среднеширотной обсерватории _____	69

ДИАГНОСТИКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.Е. Алоян

Математическое моделирование полярных стратосферных облаков с учетом кинетических и гетерогенных процессов _____ 72

А.Е. Алоян, А.Н. Ермаков, В.О. Арутюнян

Атмосферная химия над очагами лесных и торфяных пожаров _____ 74

А.С. Грицуун

Оценка чувствительности атмосферных и климатических моделей к малым внешним воздействиям с помощью флуктуационно-диссипационных соотношений _____ 76

Н.В. Ильин

Прогноз конвективных событий в мезомасштабных моделях (на примере WRF-ARW) _____ 77

М.В. Калашиник

Гидродинамические модели формирования атмосферных фронтов и циклонов ____ 78

И.К. Ларин

История озонового кризиса _____ 80

И.И. Морозов

Лабораторные методы исследования атмосферных процессов _____ 81

Д.Н. Мухин

Эмпирическое моделирование климата: методы реконструкции фазового пространства по пространственно-распределенным временным рядам _____ 83

О.Г. Чхетиани

Спиральность в атмосферном пограничном слое _____ 84

И.В. Алжирова

Влияние теплового режима Северной Атлантики на условия термического режима в Республике Татарстан _____ 85

Т.Р. Аухадеев, Ю.П. Переведенцев

О влиянии макроциркуляционных систем на термобарический режим Приволжского федерального округа _____ 87

Н.А. Важнова

Оценка возможностей использования данных о термическом режиме Северной Атлантики для долгосрочного прогнозирования аномалий термического режима в Приволжском федеральном округе _____ 88

Н.В. Вазаева, В.Ф. Крамар, Р.Д. Кузнецов, В.С. Люлюкин, О.Г. Чхетиани

Мезомасштабная циркуляция и спиральность в атмосферном пограничном слое _ 90

Д.Ю. Васильев, С.Е. Кучеров

Сравнительный анализ палеоклиматических реконструкций весенне-летних осадков Зилаирского плато и Бугульминско-Белебеевской возвышенности _____ 91

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

Нелинейные климатические моды: постановка задачи и первые результаты _____ 92

А.А. Очиров, Д.Ф. Белоножко

О дрейфовом движении на границе атмосферных слоев, испытывающих неустойчивость Кельвина-Гельмгольца _____ 93

<i>Д.Ю. Румянцев, Е.Л. Генихович, И.Г. Грачёва, Е.А. Яковлева, Р.И. Оникул, А.Д. Зив</i> Региональная химическая транспортная модель ГГО и её практическое применение _____	95
<i>Р.С. Салугаивили</i> Взаимодействие океана и атмосферы и его связь с изменениями скорости вращения Земли _____	97
<i>Ю.А.Семенова, Р.Г. Закинян</i> Исследование годографов ветра во влажной атмосфере _____	98
<i>А.В. Чернокульский, М.В. Курганский, И.И. Мохов</i> Использование простого индекса для оценки изменений условий смерчегенеза на территории России _____	100
<i>Г.В. Карпов, О.А. Виноградова, А.С. Панасюк, Е.С. Васильев, И.И. Морозов</i> Водные растворы галогенсодержащих кислот _____	102
<i>Г.В. Карпов, А.С. Панасюк, Е.С. Васильев, И.И. Морозов</i> Атмосферные реакции галогенсодержащих кислот _____	103
УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ _____	105

Научное издание

**СОСТАВ АТМОСФЕРЫ
АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ**

*Тезисы докладов
18-й Всероссийской школы-конференции
молодых ученых*

Редактор, корректор
Э.М. Дмитриев

Оригинал-макет подготовлен в ГО «Борок» ИФЗ РАН
152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, д. 142.

Подписано в печать 22.09.14. Формат 90x60 1/16.
Усл.печ.л. 7. Заказ № 1026. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Филигрань».
150049 г. Ярославль, ул. Свободы, д. 91.
Тел. (4852) 982705,
pechataet@bk.ru