

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 И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

IX всероссийская конференция
молодых ученых

Тезисы докладов

Борок
2005

Программный комитет конференции

- Анисимов С.В. — д.ф.-м.н., Геофизическая Обсерватория «Борок» филиал Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Борок (сопредседатель)
- Еланский Н.Ф. — профессор, д.ф.-м.н., Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва (сопредседатель)
- Трахтенгерц В.Ю. — профессор, д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород (сопредседатель)
- Кароль И.Л. — профессор, д.ф.-м.н., Главная Геофизическая Обсерватория им. А.И.Воейкова, С.-Петербург.
- Ларин И.К. — профессор, д.ф.-м.н., Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва.
- Мареев Е.А. — д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород
- Моисеенко К.Б. — к.ф.-м.н., Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва
- Стожков Ю.И. — д.ф.-м.н., Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва
- Фейгин А.М. — д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

Конференция организована при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Комиссии по работе с молодежью при Президиуме Российской академии наук



Девятая Всероссийская конференция молодых ученых «Состав атмосферы и электрические процессы» (САТЭП-2005), организованная совместно Институтом физики атмосферы им. А.М.Обухова, Институтом прикладной физики и Геофизической обсерваторией «Борок» (филиал Института физики Земли им.О.Ю.Шмидта), проводится с 17 по 19 мая 2005 г. в поселке Борок Ярославской области. Наряду с обзором состояния исследований в соответствующих областях физики атмосферы 9-ая школа-конференция имеет целью развитие творческих связей поколений российских ученых.

САТЭП-2005 является продолжением ставших традиционными конференций молодых ученых по проблемам «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 г.), проводившихся сначала Институтом физики атмосферы им. А.М.Обухова, а позднее ИФА РАН и Институтом прикладной физики РАН.

Расширение тематики конференций было закономерно обусловлено комплексным характером самих атмосферных процессов, их взаимосвязью и взаимовлиянием. Объединение в рамках одной конференции исследователей, работающих в различных направлениях изучения газовых составляющих атмосферы, атмосферного аэрозоля и электричества атмосферы, стало стимулом дальнейшей координации их усилий и способствовало получению новых научных результатов в физике атмосферы. Свидетельство тому — рост числа публикаций в ведущих геофизических журналах и трудах международных геофизических конференций, авторы которых — участники молодежных школ-конференций в разные годы.

Программа САТЭП-2005 включает четыре секции:

1. Малые газовые примеси в атмосфере.
2. Аэрозоли и ионизация тропосферы.
3. Электродинамика атмосферы.
4. Моделирование атмосферных динамических процессов.

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

1. *Еланский Н.Ф.* Малые примеси в атмосфере над территорией России по наблюдениям на стационарных наземных станциях и с передвижной вагон-лаборатории.
2. *Каллистратова М.А.* Исследование мезо-масштабных вариаций в атмосферном пограничном слое.

3. *Ларин И.К.* Современное состояние исследований озонового слоя Земли.
4. *Локощенко М.А.* Акустическое зондирование и его применение в атмосферных исследованиях.
5. *Ермаков А.Н.* Гетерогенные химические реакции в атмосфере.
6. *Морозов И.И.* Механизм деградации малых антропогенных соединений в атмосфере.
7. *Тарасова О.А.* Механизмы изменчивости концентрации приземного озона.
8. *Смирнов В.В.* Кинетика легких, средних и тяжелых ионов при атмосферной ионизации.
9. *Чубарова Н.Е.* Длиннопериодные и короткопериодные изменения УФ радиации: роль облачности, озона и аэрозоля.
10. *Григорьев А.И.* Электрофизические явления, обусловленные нелинейными осцилляциями капель в заряженных жидкокапельных системах естественного происхождения.
11. *Мареев Е.А.* Состояние исследований грозowego электричества.
12. *Михайловский Ю.П.* Исследования электризации конвективных облаков с помощью самолетов.
13. *Анисимов С.В.* Короткопериодные пульсации аэроэлектрического поля.
14. *Стожков Ю.И.* Генераторы электрических зарядов в атмосфере Земли.
15. *Ермаков В.И.* Физический механизм образования грозowych облаков.
16. *Кароль И.Л.* Методы оценки статистической значимости модельных откликов на внешние возмущения в климатических исследованиях.
17. *Шакина Н.П.* Перенос примесей в тропосфере и нижней стратосфере средних широт.
18. *Фейгин А.М.* Радиофизические методы построения математических моделей по экспериментальным данным.
19. *Перов С.П.* Механизмы превращения энергии, импульса и малых газовых составляющих в моделях экваториальной атмосферы.

Оргкомитет школы-конференции считает необходимым отметить, что ее организация и проведение были бы невозможны без финансовой поддержки Комиссии по работе с молодежью Президиума Российской академии наук и Российского фонда фундаментальных исследований.

Анисимов С.В.
Еланский Н.Ф.
Трахтенгерц В.Ю.

содержание

Малые газовые примеси в атмосфере

Исследование мезо-масштабных вариаций нейтральных параметров в атмосферном пограничном слое. <i>Каллистратова М.А., Кузнецов Р.Д., Куличков С.Н., Перепелкин В.Г., Чунчузов И.П.</i> _____	13
Современное состояние исследований озонового слоя Земли. <i>Ларин И.К.</i> _____	14
Акустическое зондирование и его применение в атмосферных исследованиях. <i>Локощенко М.А.</i> _____	15
Гетерогенные химические реакции в атмосфере <i>Ермаков А.Н.</i> _____	17
Механизм деградации малых антропогенных соединений в атмосфере. <i>Морозов И.И., Васильев Е.С.</i> _____	18
Механизмы изменчивости концентрации приземного озона. <i>Тарасова О.А.</i> _____	19
Влияние метеорологических условий на приземную концентрацию парниковых газов в Москве. <i>Шумский Р.А., Локощенко М.А.</i> _____	20
Полупроводниковые сенсоры и озонметр на их основе. <i>Бубнова И.А., Жерников К.В., Шумский Р.А.</i> _____	22
Изучение характеристик полупроводникового озонметра при работе в полевых условиях. <i>Жерников К.В., Шумский Р.А., Бубнова И.А.</i> _____	23
Влияние температурной стратификации на вертикальные профили озона в нижней атмосфере. <i>Локощенко М.А., Хапаев В.А.</i> _____	24
Окислы углерода и метан над территорией континентальной России по наблюдениям в экспериментах TROICA. <i>Ралько А.А.</i> _____	26
Влияние инверсии температуры на уровень загрязнения воздуха. <i>Хапаев М.И., Кузнецова И.Н., Лезина Е.А., Семутникова Е.Г.</i> _____	27
О пространственном распределении газовых компонент загрязнения городской атмосферы. <i>Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Шукуров К.А., Зоткин Е.В., Карпов А.В., Лезина Е.А.</i> _____	28
Исследование активности планетарных волн в зимне-весенний сезон 2002 г. в Южном полушарии. <i>Варгин П.Н., Петерс Д.</i> _____	29
Некоторые особенности распределения водяного пара в зимней арктической стратосфере. <i>Хайкин С.М.</i> _____	30
О спектральной корреляции концентраций газовых компонент загрязнения и метеопараметров. <i>Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Озерецкий Р.С.</i> _____	31

Анализ временной изменчивости концентраций малых газовых примесей в воздушном бассейне г. Москвы. *Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Шукуров К.А., Зоткин Е.В., Карпов А.В., Лезина Е.А., Ульянов А.В.* _____ 32

Дистанционное зондирование атмосферы на основе фотометрии лунных затмений. *Угольников О.С., Маслов И.А.* _____ 33

Аэрозоли и ионизация тропосферы

Кинетика легких, средних и тяжелых ионов при атмосферной ионизации. *Смирнов В.В.* _____ 37

Длиннопериодные и короткопериодные изменения УФ радиации: роль облачности, озона и аэрозоля. *Чубарова Н.Е.* _____ 38

Электрофизические явления, обусловленные нелинейными осцилляциями капель в заряженных жидкокапельных системах естественного происхождения. *Григорьев А.И.* _____ 39

Метод «по прямому солнцу»: итерационный алгоритм определения ОСО и УФ спектров аэрозольной оптической толщины атмосферы. *Сидорович И.Ю.* _____ 40

Влияние направления переноса на состав воздуха в приземном слое атмосферы по наблюдениям в районе пос. Годжур (Калмыкия). *Машковцева А.А., Скороход А.И., Волох А.А.* _____ 41

О связи турбулентных потоков аэрозоля, водяного пара и тепла с характеристиками завихренности. *Горчаков Г.И., Шукуров К.А.* _____ 42

Исследование вариаций оптических характеристик и микроструктуры городского аэрозоля. *Горчаков Г.И., Исаков А.А., Карпов А.В., Копейкин В.М., Шукуров К.А.* _____ 43

Электромагнитное излучение линейно осциллирующей заряженной капли конечной проводимости. *Голованов А.С., Жарова И.Г., Крючков О.С.* _____ 44

О коронном разряде с капли, нелинейно осциллирующей в электрическом поле. *Жаров А.Н., Волкова М.В., Крючков О.С.* _____ 45

Об усилении внешнего электрического поля на гребнях нелинейных волн в слое жидкости конечной толщины. *Курочкина С.А., Климов А.В., Заплевичко Д.С.* _____ 46

Роль нелинейного взаимодействия волн в формировании условий зажигания огней святого Эльма. *Белоножко Д.Ф., Санасарян С.А., Голованов А.С.* _____ 47

Индукционные неустойчивости зарядки в грозовом облаке. *Сорокин А.Е.* _____ 48

Электродинамика атмосферы

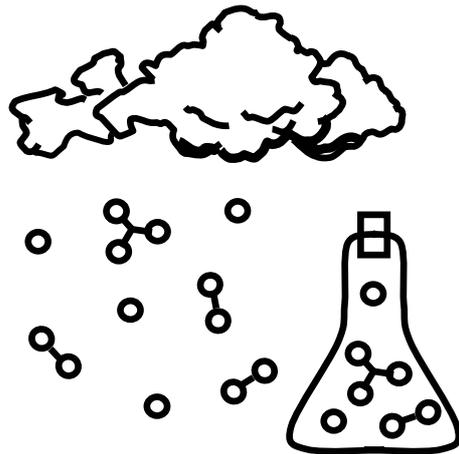
Состояние исследований грозового электричества. <i>Мареев Е.А.</i> _____	53
Генераторы электрических зарядов в атмосфере Земли. <i>Стожков Ю.И., Ермаков В.И.</i> _____	54
Физический механизм образования грозовых облаков. <i>Ермаков В.И., Стожков Ю.И.</i> _____	55
Короткопериодные пульсации аэроэлектрического поля. <i>Анисимов С.В.</i> _____	56
Плазмохимическая модель влияния спрайта на состав мезосферы. <i>Евтушенко А.А., Мареев Е.А.</i> _____	57
Модели возникновения аэроэлектрических структур в конвективном погранслое. <i>Шаталина М.В., Мареев Е.А.</i> _____	58
Новая газодинамическая модель главной стадии молнии. Построение и ре- зультаты. <i>Бирюков А.В., Мареев Е.А.</i> _____	59
Регистрация в Москве мощного землетрясения 26 декабря 2004 года и реакция озоносферы, электросферы, ионосферы на это событие. <i>Белоносова О.В., Барковский Е.В., Борог В.В., Нетреба С.Н., Перов С.П., Тимашев С.Ф.</i> _____	60
К вопросу о разделении объемного заряда легких ионов и заряженных аэрозолей. <i>Кудринская Т.В., Морозов В.Н., Петрова Г.Г.</i> _____	61
Разработка метода оценки спектральных составляющих сигналов ультранизкочастотного диапазона. <i>Мишин В.А., Соколов М.С., Елисеева С.В., Тарасов А.В., Киселев А.В., Закиров А.А.</i> _____	62
Механизмы зарядки и конденсации в атмосфере. <i>Боярчук К.А., Карелин А.В., Широков Р.В.</i> _____	63
Образование ионных каналов в грозовых облаках. <i>Фоменко А.С., Лосева Т.В., Немчинов И.В.</i> _____	64
Отклик аэроэлектрического поля приземного слоя на Форбуш-понижения интенсивности галактических космических лучей. <i>Анисимов С.В., Шихова Н.М.</i> _____	65
Метод оценки возмущения аэроэлектрического поля системой заземленных идеально проводящих стержней. <i>Дмитриев Э.М.</i> _____	66

Моделирование атмосферных динамических процессов

Методы оценки статистической значимости модельных откликов на внешние возмущения в климатических исследованиях. <i>Кароль И.Л., Киселев А.А.</i> _____	69
Перенос примесей в тропосфере и нижней стратосфере средних широт. <i>Шакина Н.П.</i> _____	70

Механизмы превращения энергии, импульса и малых газовых составляющих в моделях экваториальной атмосферы. <i>Перов С.П., Борисов Ю.А., Показеев К.В., Галкина И.Л., Гальченко А.А.</i>	71
Методика и результаты наблюдений мезосферного озона на миллиметровых волнах. <i>Игнатьев А.Н., Кропоткина Е.П., Розанов С.Б., Соломонов С.В.</i>	74
Анализ вариаций концентрации приземного озона в Звенигороде. <i>Стицей М.Ю., Кузнецов Г.И., Тарасова О.А.</i>	75
Влияние макрометеорологических параметров на концентрацию озона в тропосфере. <i>Евлампиев А.С., Тарасова О.А.</i>	76
Анализ межгодовых изменений общего содержания озона над территорией России в 1973–2002 гг. по измерениям станций сети Росгидромета. <i>Сыроваткина О.А., Кароль И.Л., Шаламянский А.М.</i>	77
Реакционно-диффузионные волны в атмосфере Земли. <i>Куликов М.Ю., Фейгин А.М.</i>	78
Байесов подход к восстановлению вертикального профиля озона по данным радиометрических измерений. <i>Мольков Я.И., Мухин Д.Н., Суворов Е.В., Фейгин А.М.</i>	79
Статистический подход к реконструкции динамических систем по временным рядам. <i>Лоскутов Е.М., Мольков Я.И., Мухин Д.Н., Фейгин А.М.</i>	80
Моделирование эмиссии метана из многолетнемерзлых болот криолитозоны России при изменении климата. <i>Ренёва С.А.</i>	81
Применение SVD и EOF методов для анализа пространственно-временных полей ОСО, УФ эритемной облученности и атмосферного альbedo по спутниковым данным TOMS 8. <i>Крамарова Н.А., Кузнецов Г.И.</i>	82
Дистанционное определение характеристик турбулентности в АПС. <i>Кузнецов Р.Д.</i>	83
Модель зонально-осредненной циркуляции средней атмосферы — численные эксперименты и верификация. <i>Моисеенко К.Б., Беляев А.Н.</i>	84
О линейном механизме диссипативно центробежной неустойчивости в реализации начальной стадии развития тропических циклонов (тайфунов). <i>Блажко В.Н., Чефранов С.Г.</i>	85
Влияние направления переноса на приземную концентрацию озона. <i>Панкратова Н.В., Еланский Н.Ф.</i>	86

Малые газовые примеси в атмосфере



Исследование мезо-масштабных вариаций нейтральных параметров в атмосферном пограничном слое

*М.А. Каллистратова, Р.Д. Кузнецов, С.Н. Куличков, В.Г. Перепелкин,
И.П. Чунгузов*

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

Задачей исследования является обнаружение в атмосферном пограничном слое (АПС) мезо-масштабных долгоживущих анизотропных неоднородностей скорости ветра и температуры (когерентных структур, КС) с целью последующего разграничения вариаций электрического поля, связанных с эволюцией и перемещением КС, и вариаций, вызванных другими факторами. Для этого использовалась акустическая томографическая схема, основанная на рассеянии (либо частичном отражении) низкочастотного звука (~10–60 Гц) на мезо-масштабных КС. Амплитуда рассеянного сигнала зависит от вертикальных градиентов температуры и ветра внутри КС.

Источник — мощный детонационный генератор — излучал полуторачасовые серии акустических импульсов (длительность ~20 мсек, амплитуда ~120 Па, период ~30 сек). Прием сигнала велся сетью микрофонов, расположенных на горизонтальных расстояниях до 5,5 км от источника. Одновременно независимо определялись вертикальные профили температуры и скорости ветра в АПС и проводилось аэрологическое зондирование до высоты 12 км. Методика и геометрия эксперимента позволила непосредственно исследовать КС (с вертикальными масштабами от 10 м и более и с горизонтальными масштабами от 100 м до 5 км) без привлечения гипотезы «замороженной турбулентности».

Были выявлены доминантные периоды (в диапазоне от 4-х до 20 минут) вариаций нейтральных компонент, происходящих синхронно над поверхностью с линейными размерами порядка нескольких километров. Теоретический анализ полученных данных показал, что вариации с периодами 4–8 минут вызваны захваченными гравитационными модами в нижней части устойчиво-стратифицированного АПС. Оценки характерных горизонтальных скоростей этих мод составляют 6–7 м/с, отличаясь по направлению и величине от средней скорости ветра в АПС, а горизонтальные длины этих мод составляют 3–4 км. На основе данных аэрологического зондирования сделано предположение, что вариации с периодами более 16 минут (в условиях как устойчивой, так и неустойчивой стратификации) вызваны просачиванием энергии внутренних гравитационных волн, которые распространяются в тропосферном волноводе с нижней и верхней границами, соответственно 2–3 км и 10–12 км. Вариации нейтральных компонент с вышеуказанными доминантными периодами могут вызывать соответствующие вариации электрического поля.

Работа выполнена при поддержке РФФИ-ННИО, грант № 03-05-04001.

Современное состояние исследований озонового слоя Земли

И.К. Ларин

Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва

В докладе будут рассмотрены следующие вопросы:

1. История возникновения озонового слоя;
2. Каким образом атмосферный озон защищает флору и фауну Земли;
3. Механизм образования и гибели озона в атмосфере;
4. Высотное и широтное распределение озона в атмосфере;
5. Естественные причины изменчивости озона;
6. Влияние антропогенных факторов на атмосферный озон;
7. Экологические последствия истощения озонового слоя;
8. Антарктическая озоновая дыра;
9. Последние достижения в исследовании озонового слоя;
10. Применение статистических методов в изучении озонового слоя;
11. Озоновый слой в XXI веке;
12. Нерешенные проблемы озонового слоя.

Акустическое зондирование и его применение в атмосферных исследованиях

М.А. Локощенко

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

Акустическое (звуковое) зондирование является одним из перспективных и многообещающих дистанционных методов изучения нижней атмосферы. Первый акустический локатор (содар) был создан в США в 1946 г., первый современный содар с непрерывной регистрацией эхо-сигнала — в Австралии в 1968 г. Уже в начале 1970-х годов появились доплеровские содары. Ныне в мире работают несколько сотен содаров, в большинстве своем — приборы серийного производства, являющиеся сертифицированным средством измерений профилей ветра. В России в научных исследованиях используются четыре акустических локатора: два — на Географическом факультете МГУ в Москве и два — в Томске, в институтах СО РАН. Акустическое зондирование основано на использовании физического явления рассеяния звука на атмосферных турбулентных неоднородностях инерционного интервала. Содары служат надежным средством измерений профилей скорости и направления ветра, а также стандартного отклонения вертикальной составляющей скорости, структурной характеристики температурных пульсаций и пр. Кроме того, по виду и морфологии турбулентных структур на высотно-временной развертке эхо-сигнала (содарной записи) можно определять вид температурной стратификации атмосферного пограничного слоя и границы слоев инверсий в поле сдвига ветра. Существуют содары двух видов: обычного диапазона зондирования (в среднем — от 0,8 до 1,0 км) и малого диапазона, так называемые «мини-содары». Последние часто используются в объединенных системах дистанционного зондирования, где обеспечивают покрытие «мертвой зоны» доплеровских радиолокаторов в пределах первых нескольких сотен метров у Земли при совместных измерениях профилей ветра.

Достоинствами содарной техники служат ее относительная дешевизна (современный доплеровский содар стоит на порядок дешевле доплеровского радара), экономичность в эксплуатации, всепогодность (кроме случаев чрезвычайно сильных осадков), а также исключительно высокое временное и пространственное разрешение данных. Последнее составляет 10–20 м, а при использовании малых содаров доходит до единиц метров. Это открывает уникальные возможности изучения тонкой структуры атмосферного пограничного слоя — как термической, так и ветровой — с высокой степенью подробности. Содары являются наилучшим средством обнаружения тонких задерживающих слоев температурных инверсий, отдельных конвективных термик, волновых движений в нижней атмосфере, низкоуровне-

вых струй на профилях скорости ветра, и т.п. Содары успешно используются при исследованиях воздушных течений регионального и среднего масштаба, в том числе бризов на побережьях морей, циркуляции «городского бриза», обтекания неровностей земной поверхности и пр. Содарные данные служат также важным подспорьем в анализе динамики содержания малых газовых примесей и твердых частиц в нижней атмосфере, а также при изучении некоторых синоптических процессов и погодных явлений — прохождения фронтов, инверсий оседания, слоистых облаков и слоев тумана и др.

Практическое применение содаров многообразно. За рубежом ими оснащены многие аэропорты для оперативного отслеживания опасных для авиации сдвигов ветра в нижней атмосфере, атомные электростанции, крупные производственные объекты. Содары широко используются в системах экологического мониторинга больших городов и промышленных зон, при проведении астрофизических наблюдений, на военных полигонах при испытаниях артиллерийских орудий и звуковещательных установок, при проектировании строительства в местности с неизвестным потенциалом загрязнения и т.д.

Ограничениями в использовании содаров являются относительно небольшой диапазон измерений и шумовое загрязнение атмосферы. Последнее связано с тем, что содары работают на частотах слышимого диапазона (обычные содары — от 1 до 2 кГц, малые содары — около 4 кГц).

1. *Красненко Н.П.* Акустическое зондирование атмосферного пограничного слоя. Томск, ИОМ СО РАН. 2001. 280С.
2. *Локощенко М.А.* Применение вертикальных содаров в метеорологии (обзор) // Оптика атмосферы и океана, Томск. 1996. Т. 9. № 7. С.970–992.

Гетерогенные химические реакции в атмосфере

А.Н. Ермаков

Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва

В докладе будут рассмотрены следующие вопросы. Закономерности протекания гетерогенных химических процессов в атмосфере: движущие факторы, обуславливающие трансформацию малых составляющих атмосферы в присутствии аэрозольных частиц, диффузионный и кинетический режимы осуществления гетерогенных химических реакций в атмосфере, динамика и механизм взаимодействия газовых частиц с жидкими и твердыми аэрозолями, коэффициенты захвата и аккомодации газовых частиц, теория и эксперимент. Сопряжение газофазных и жидкофазных химических и фотохимических реакций в атмосфере. Размерные эффекты в химических реакциях с участием атмосферных аэрозолей. Моделирование гетерогенных химических реакций в атмосфере. Модель Chemical Aqueous Phase Radical Mechanism for Tropospheric Chemistry (CAPRAM 2.3; 2.4). Гетерогенная химия трансформации оксидов серы и азота в атмосфере: цепно-каталитический механизм формирования кислотных дождей процессов в капельной влаге облаков, динамика превращения. Гетерогенные химические реакции истощения озона в нижней стратосфере в высоких и средних широтах.

Механизм деградации малых антропогенных соединений в атмосфере

И.И. Морозов, Е.С. Васильев

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

Реакции фторированных соединений в атмосфере Земли широко изучаются в связи с существующей угрозой разрушения озонового слоя и увеличением парникового эффекта. Одной из особенностей данных реакций является образование пероксильных радикалов RO_2 . Эти радикалы играют ключевую роль в химии верхней атмосферы. Изучению реакций этих радикалов и их формированию и посвящена данная работа. В соответствии с Монреальским протоколом проводится целенаправленная программа по уменьшению производства хлорфторуглеродов (ХФУ). Это привело к необходимости исследования поведения в атмосфере заместителей ХФУ. Большая часть ХФУ и их заместителей поглощают тепловое инфракрасное излучение и могут способствовать усилению парникового эффекта, приводя к глобальному изменению климата на Земле. Изучены в качестве заместителей ХФУ частично фторированные органические кислородсодержащие соединения (ЧФС). Молекулы ЧФС имеют С-Н связь, которая реагирует с тропосферным гидроксил-радикалом, в результате чего сокращается время жизни ЧФС в атмосфере и появляются новые продукты. Кроме того, что ЧФС должны иметь более короткое атмосферное время жизни, чем ХФУ, эти заместители не содержат атомов хлора, что создает меньший риск для озонового слоя Земли, так как продукты распада ЧФС не могут участвовать в циклах каталитического разрушения озона. Тем не менее, благодаря сильному поглощению инфракрасного излучения Земли (в областях полос поглощения, связанных с колебаниями С- F), ЧФС могут вносить вклад в «глобальное потепление». Количественное определение роли ЧФС в качестве «парникового газа» требует, во-первых, точной информации о времени пребывания в атмосфере этих веществ, которое определяется их реакциями с радикалами OH и NO_3 и атомом Cl . Кроме того, в настоящее время отсутствуют надежные данные по сечениям поглощения инфракрасного излучения в области «атмосферного окна» (в диапазоне 8–12 мкм). Применены современные физических методы: масс-спектрометрия с молекулярно-пучковым напуском активных частиц, включая свободные радикалы; многофотонная лазерная ионизация свободных радикалов; вакуумная УФ и ИК спектроскопия. для лабораторного моделирования атмосферных процессов. Приводятся схемы атмосферной деградации ЧФС.

Механизмы изменчивости концентрации приземного озона

О.А. Тарасова

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

Приземный озон занимает особое место в ряду малых газовых составляющих атмосферы. Его особое расположение на границе раздела двух сред (земля – атмосфера) и высокая химическая активность определяют сложность и многообразие процессов, управляющих изменчивостью концентрации. Источниками озона в приземном слое служат приток из свободной тропосферы и фотохимическое образование из предшественников, главным образом углеводородов, с участием окислов азота в качестве катализаторов. Стоком является химическое разрушение в воздухе и на поверхностях. Пространственные градиенты в распределении источников предшественников приземного озона, а также широкий спектр времени жизни этого соединения в различных условиях (от минуты до 10 суток) определяют и разнообразие атмосферных процессов, формирующих наблюдаемую изменчивость приземного озона.

Механизмы изменчивости концентрации приземного озона можно условно разделить на две большие группы. Во-первых, локальные факторы, определяемые такими условиями как роза ветров (или локальный перенос), локальными метеорологическими условиями (например, локальные циркуляции или температурные инверсионные условия), свойствами подстилающей поверхности (стоковые эффекты), распределением источников эмиссий, локальными особенностями фотохимической генерации. Во-вторых, региональные факторы, такие как сезонность радиационных характеристик, особенности крупномасштабных динамических процессов в выбранном регионе (определяющие особенности дальнего переноса), изменения вертикальной стратификации атмосферы (определяющие вертикальный перенос озона), долговременные изменения высоты и положения тропопаузы и др. Особое место в этом ряду занимают процессы синоптического масштаба, находящиеся между описанными выше группами.

Влияние различных механизмов на изменения приземного озона представлены на примерах Европейских и Российских озонметрических станций, экспедиционных измерениях и с использованием транспортно-фотохимической модели.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 03-05-64712.

Влияние метеорологических условий на приземную концентрацию парниковых газов в Москве

Р.А. Шумский¹, М.А. Локощенко²

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

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

С 1 февраля 2002 г. ИФА им. А.М. Обухова РАН и географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова совместно проводят на территории Метеорологической обсерватории МГУ непрерывные измерения содержания малых газовых примесей в приземном слое атмосферы. Измерения проводятся с помощью автоматизированного газоаналитического комплекса ИФА РАН, который включает анализаторы O₃, NO, NO₂, CO, CO₂, CH₄ и др.

По результатам наблюдений исследована динамика суточного и годового хода приземного содержания малых газовых примесей в Москве, а также их связи с метеорологическими величинами и температурной стратификацией нижней атмосферы по данным акустического зондирования. Выявлено, например, что суточный ход приземного озона в Москве в теплое время года и в переходные месяцы (апрель, октябрь) характеризуется основным дневным и дополнительным ночным максимумами. В утренние и вечерние часы содержание озона обычно наименьшее. Зимой суточный ход более сглаженный. Суточный ход содержания NO, NO₂ и CO качественно сходный для всех трех веществ и демонстрирует в теплом сезоне года противоположные по сравнению с суточным ходом озона закономерности: максимумы в утренние и вечерние часы и минимумы ночью и днем.

Отдельно проанализированы случаи экстремально высоких значений приземного содержания NO, NO₂ и CO. Район наблюдений в юго-западной части Москвы является относительно чистым, удаленным от крупных локальных источников загрязнения воздуха. Это позволяет считать, что результаты измерений в МГУ отражают фоновые условия внутри большого города, то есть совокупное влияние всех городских источников выбросов. Наибольшее в среднем за 10 минут содержание окиси азота достигает здесь более 400 ppb, двуокиси азота — около 100 ppb, угарного газа — порядка 10 ppm. Обычно рекордно высокие уровни загрязнения отмечаются в холодное время года в условиях, близких к штилевым с высоким фоном давления — в области центров антициклонов или на осях атмосферных гребней, при господстве арктической воздушной массы с очень низкой температурой воздуха у Земли (–15 °C и менее). Вероятной причиной высоких уровней загрязнения в такие дни служит усиление отопления города, связанное с более интенсивным расходом топлива на ТЭЦ и накоплением выбросов продуктов сгорания в приземном слое воздуха вследствие штиле-

вых условий и наличия низкоуровневых инверсий. По данным непрерывного акустического зондирования в Метеорологической обсерватории МГУ температурная стратификация в такие дни, как правило, отмечена длительным существованием инверсионных слоев в нижней атмосфере, ограничивающих высоту слоя перемешивания крайне низкими значениями.

Полупроводниковые сенсоры и озонометр на их основе

И.А. Бубнова¹, К.В. Жерников², Р.А. Шумский³

¹ Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я.Карпова, Москва

² Саратовский Государственный Университет им. Н.Г.Чернышевского, Саратов

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

Химические сенсоры все шире используются в газоизмерительных приборах [1]. Важное место среди них занимают полупроводниковые сенсоры (ППС), обладающие высокой чувствительностью, быстродействием, миниатюрностью [1, 2]. В НИФХИ им. Л.Я. Карпова разрабатываются ППС на озон и другие газовые примеси. **Полупроводниковый сенсор** представляет собой изолирующую подложку (поликор) размером 3×3 или 1,5×1,5 мм², на обеих сторонах которой по технологии микроэлектроники нанесены нагреватель, измерительные электроды, чувствительный слой, термистор. Физической характеристикой сенсора, зависящей от концентрации озона, является электропроводность чувствительного слоя. В качестве чувствительных слоев сенсоров использованы оксиды цинка и индия. Сенсор находится во фторопластовом колпачке, через который продувается анализируемый воздух. **Характеристики сенсора** изучены на лабораторном газодинамическом стенде, в состав которого входит генератор озона I разряда ГС-024-1 фирмы «ОПТЕК». Установлена зависимость величины сигнала сенсора (изменение электропроводности) от температуры чувствительного слоя и от концентрации озона. Экстраполяция градуировочных зависимостей сенсоров в область низких концентраций озона дает отношение сигнал/шум равное 1 для стационарного уровня сигнала порядка 25–40 ppt. На базе полупроводниковых сенсоров сотрудниками ИФА им. А.М. Обухова совместно с НИФХИ им. Л.Я. Карпова разработан новый прибор для измерения озона — **полупроводниковый озонометр**. Прибор полностью автоматизирован. Все параметры сенсора: сопротивления чувствительного слоя, нагревателя, термометра, значения тока и напряжения на элементах сенсора выведены на монитор. Это дает возможность контролировать и корректировать правильность работы элементов сенсора в ходе эксперимента и повышает надежность интерпретации сигнала сенсора. Данные записываются в файл с частотой 6,25–0,016 Гц.

Работа поддержана РФФИ — проект 05-05-64895-а

1. Каттрал Р.В. Химические сенсоры. М.: Научный мир. 2000. 143С.
2. Мясников И.А., Сухарев В.Я., Курьянов Л.Ю., Завьялов С.А. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях. М.: Наука. 1991. 327С.

Изучение характеристик полупроводникового озонметра при работе в полевых условиях

К.В. Жерников¹, Р.А. Шумский², И.А. Бубнова³

¹ Саратовский Государственный Университет им. Н.Г.Чернышевского, Саратов

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

³ Научно-исследовательский физико-химический институт им.Л.Я.Карпова, Москва

Полупроводниковый озонметр, разработанный совместно сотрудниками ИФА им. А.М. Обухова и НИФХИ им. Л.Я. Карпова, проходил натурные испытания на метеообсерватории МГУ и в Геофизической обсерватории «Борок» в мае – июне 2004 г. Измерения озона тестируемым прибором проводили одновременно со спектрофотометром DASIBI 1008. Показано, что озонметр отслеживает суточную изменчивость концентрации озона синхронно с DASIBI 1008 АН, и обладает при этом более высокой чувствительностью и быстродействием. Новый прибор предназначен для мониторинговых измерений озона и измерения мелкомасштабных вариаций концентрации озона в атмосфере. Для оценки быстродействия сенсора на качественном уровне, в таблице сопоставлены отклонения сигнала сенсора от среднего значения сопротивления, измеренного в течение 5 сек. при частоте опроса 6 Гц, в различных условиях, отличающихся постоянной или переменной концентрацией озона.

Условия эксперимента	Среднее значение R, КΩ	Отклонение, %
R стандартное	30,3	0,165
Сенсор в воздухе с 15 ppb озона от генератора	31,87	0,22
Сенсор в комнате с открытым окном	12,8	4,7
Сенсор в атмосфере на мачте в Борке	22,0	9,09

Из сопоставления данных таблицы следует, что в отсутствие озона или при его стабильной концентрации отклонение сигнала сенсора от среднего значения составляет доли процента, в то время как при измерениях в открытой атмосфере в условиях переменной концентрации озона указанное отклонение возрастает до 9 процентов. Полученный результат позволяет предполагать, что сенсор способен регистрировать пульсирующую составляющую концентрации озона в атмосфере.

Работа поддержана РФФИ — проект 05-05-64895-а.

Влияние температурной стратификации на вертикальные профили озона в нижней атмосфере

М.А. Локощенко¹, В.А. Хапаев²

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

² Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Дубна

В мае – июне 2002 года в г. Великие Луки (Псковская область) был проведен совместный научный эксперимент МГУ и ЦАО, заключавшийся в синхронном зондировании нижней атмосферы с помощью акустического локатора (содара) «ЭХО-1», привязного аэростата, шаров-пилотов и радиозондов. Результатом работы явились уникальные профили температуры воздуха и озона, полученные с высоким вертикальным разрешением (10 м) по данным 15 подъемов привязного аэростата в слое до 500 м в разное время суток. Содарные данные о термической структуре нижнего 800-метрового слоя воздуха служили важным дополнением контактных измерений, поскольку позволяли проследить ее динамику в промежутках между подъемами аэростата.

Анализ результатов показал высокую надежность содарных данных о типе температурной стратификации и о высотах границ инверсионных слоев. Во всех случаях подъемов привязного аэростата полученные профили температуры воздуха подтвердили содарные оценки знака вертикального градиента температуры воздуха. Так, в левой части рис.1 аэростатные данные демонстрируют близкую к безразличной стратификацию температуры при почти полном отсутствии эхо-сигнала. После 22 ч на профиле температуры видна приземная инверсия в нижнем 100-метровом слое воздуха, точно соответствующая области турбулентной структуры этой инверсии на высотнo-временной развертке эхо-сигнала (содарной записи) в виде слоя черного цвета.

Вертикальные профили парциального давления озона при конвективной стратификации демонстрируют почти постоянные его значения во всем диапазоне зондирования вследствие интенсивного вертикального перемешивания. В условиях приземной инверсии содержание озона обычно быстро растет с высотой вплоть до ее вершины (рис.1) вследствие осаждения озона на подстилающей поверхности и действия инверсии в качестве запирающего слоя, затрудняющего вертикальное перемешивание с вышележащей атмосферой, богатой озоном. Подробно обсуждаются методические основы усреднения данных профильных измерений.

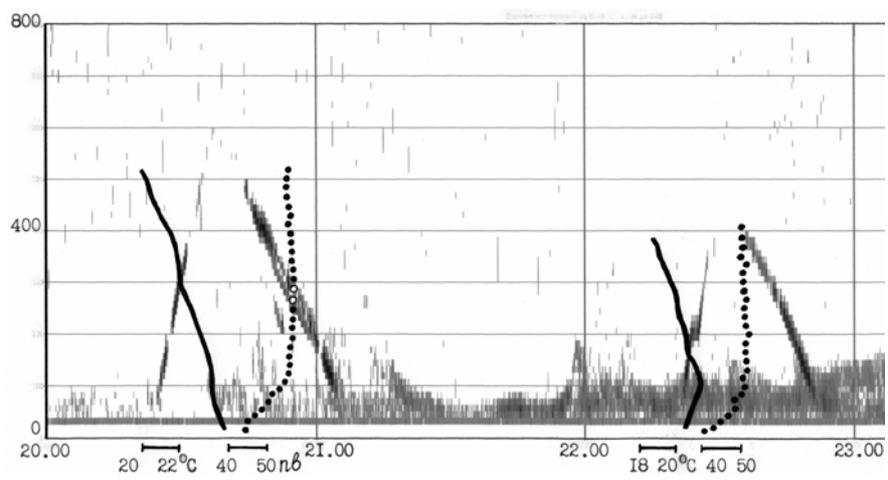


Рис.1. Осредненные по данным подъема и спуска аэростата профили температуры воздуха (прямые линии), профили озона (точки) и содарная запись вечером 2 июня 2002 года. По горизонтали — время, часы; по вертикали — высота, метры. Наклонные темные полосы связаны с переотражением звуковых волн от оболочки аэростата при его подъеме и спуске.

Окислы углерода и метан над территорией континентальной России по наблюдениям в экспериментах TROICA

А.А. Ралько

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

По данным измерений концентраций углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и окиси углерода (CO) в приземном слое атмосферы, проведенных на железнодорожном вагоне-лаборатории по трассе Транссибирской железнодорожной магистрали от Москвы до Хабаровска в 1997–2004 гг. определены основные статистические закономерности поведения концентраций этих газовых примесей над всей территорией России.

Определены характерные средние значения и среднеквадратичные отклонения концентраций указанных газовых примесей над континентом, отдельно в зимний и летний периоды, для условий отсутствия непосредственного влияния антропогенного загрязнения атмосферы.

Проанализирован характер крупномасштабного пространственного распределения CO , CO_2 и CH_4 над континентом. Выявлен характерный длительный градиент концентрации CO вдоль континента. Выявлены неоднородности распределения CO_2 , обусловленные различным характером ландшафтных условий и растительного покрова, а также различной степенью антропогенных эмиссий. В регионе Западной Сибири наблюдается область высоких концентраций CH_4 , порождаемая эмиссией из увлажненных почв.

Выявлены особенности суточных вариаций концентраций примесей. Мощные приземные инверсии вызывают продолжительное накопление CO_2 и CH_4 под инверсионным слоем и рост их концентраций летом в ночное время.

Проанализирован также режим поведения концентраций CO , CO_2 и CH_4 в городах.

Влияние инверсии температуры на уровень загрязнения воздуха

М.И. Нахаев¹, И.Н. Кузнецова¹, Е.А. Лезина², Е.Г. Семутникова²

¹ Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России, Москва

² Государственное природоохранное учреждение «Мосэкомониторинг», Москва

В работе были использованы данные микроволновых измерений приборами МТП-5, установленными в центре города и в окрестностях (Долгопрудный, Звенигород). Измерения профилей температуры производились в непрерывном режиме с дискретностью по времени 5–10 минут и разрешением по высоте 50 метров. Данные о загрязнении приземного слоя городского воздуха получены с автоматических станций контроля загрязнения воздуха (АСКЗА) муниципальной сети ГПУ «Мосэкомониторинг»: концентрации оксида углерода, диоксида и оксида азота, суммарных углеводородов, озона.

Установлено, что максимальный отклик уровня загрязнения воздуха наблюдается при наличии приземной инверсии температуры в сочетании со слабым ветром в пограничном слое атмосферы. В устойчивой атмосфере формируется максимум загрязнения с утренним и вечерним пиками. Причем утренний пик превышает вечерний, поскольку «стартует» с более высокого фона обусловленного накоплением примесей и слабым рассеиванием в условиях ночной инверсии. Предполагается существование двух типов городской циркуляции, влияющей на перенос загрязняющих веществ в мегаполисе. При первом типе загрязнение с окраин переносится к центру города, при втором типе (из-за подавляющего влияния мощной инверсии) загрязнение остается вблизи источников и приземный воздух в центре города оказывается чище, чем на окраинах.

О пространственном распределении газовых компонент загрязнения городской атмосферы

*Г.И. Горчаков¹, Е.Г. Семутникова², К.А. Шукуров¹, Е.В. Зоткин¹,
А.В. Карпов¹, Е.А. Лезина²*

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

² Государственное природоохранное учреждение «Мосэкомониторинг», Москва

Рассчитаны статистические характеристики вариаций концентрации газовых компонент загрязнения в воздушном бассейне г. Москвы по данным измерений на сети постов Мосэкомониторинга. Проанализированы особенности сезонной и синоптической изменчивости пространственного распространения газовых компонент загрязнения на территории города. Изучены корреляционные связи между вариациями концентраций малых газовых примесей в различных районах города. Рассчитаны вероятности превышения предельно допустимых концентраций и международных критериев.

Исследование активности планетарных волн в зимне-весенний сезон 2002 г. в Южном полушарии

П.Н. Варгин¹, Д. Петерс²

¹ Центральная Аэрологическая Обсерватория, Долгопрудный

² Институт атмосферной физики, Университет г. Росток, Кюхлунгсборн, Германия

В последние, более чем 20 лет в зимне-весенний сезон в Антарктике наблюдалось постоянное (за исключением 1988 г.) увеличение озонной аномалии. В этой связи, особенный интерес представляет исследование причин рекордно малой озонной дыры 2002 г. Сильная возмущенность стратосферы, ослабленная зональная циркуляция, высокая интенсивность планетарных волн и, впервые зарегистрированное в Южном полушарии, сильное стратосферное потепление, привели к разделению на две части полярного вихря [2–3]. Высокая интенсивность планетарных волн привела к интенсивному переносу озона из средних в полярные широты и значительному сокращению озонной аномалии [1].

Недавно было показано, что наблюдавшийся в Южной Атлантике антициклон, усиление которого наблюдалось в период сильного стратосферного потепления, связан с планетарной волной, возникшей в регионе сильной конвекции (характеризуемой сильной отрицательной аномалией уходящей длинноволновой радиации), расположенном вблизи Индонезии [4].

В настоящей работе проводится анализ пространственной структуры и временной изменчивости планетарных волн в зимне-весенний сезон 2002 г. в Южном полушарии и исследуется дополнительный (к описанному в [4]) источник волновой активности, усиление которого также оказало влияние на разделение полярного вихря в сентябре 2002 г.

1. *Варгин П.Н., Жадин Е.А.* Влияние сильного стратосферного потепления на Антарктическую озонную дыру в 2002 г. // *Метеорология и Гидрология*. 2004. Т. 8, С.36–45.
2. *Baldwin M., Hirooka T., O'Neil A., Yoden S.* Major Stratospheric Warming in the SH in 2002: Dynamical Aspects of the Ozone Hole Split // *SPARC Newsletter*. 2003. V. 20, P.24–26.
3. *Manney G., Sabutis J., Allen D., Lahoz W., Scaife A., Randall C., Pawson S., Swinbank R., Naujokat B.* Simulation of Dynamics and transport During the September 2002 Antarctic Major Warming // *Atmospheric Science*, 2005.
4. *Nishii K., H. Nakamura,* Tropospheric Influence on the Diminished Antarctic Ozone Hole in September 2002 // *Geophys. Res. Lett.*, 2004, V. 31, 2004GLO19532.

Некоторые особенности распределения водяного пара в зимней арктической стратосфере

С.М. Хайкин

Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный

В докладе представлены результаты баллонных измерений вертикальных профилей водяного пара в верхней тропосфере и стратосфере, полученные при помощи оптического гигрометра FLASH-B, разработанного в ЦАО.

Приводятся результаты измерений водяного пара гигрометром FLASH-B, полученные в ходе полевой кампании, посвященной сравнению баллонных гигрометров на арктической станции в Соданкуле, Финляндия (67,40 с.ш. 26,70 в.д.), а также результаты баллонного зондирования на станции в Нью-Алесунде (78,90 с.ш., 11,90 в.д.), о. Западный Шпицберген, Норвегия.

Представлены результаты численных сравнений данных измерений водяного пара оптическим гигрометром FLASH-B и гигрометром точки инея NOAA-CMDL. Показано, что относительное расхождение между приборами в диапазоне высот 12–26 км не превышает 10 %, т. е. лежит в пределах погрешности измерений обоих приборов.

Отмечено, что вертикальный градиент водяного пара внутри полярного циклона выше, чем вне циклона, что объясняется нисходящим движением воздушных масс в циклоне. По проведенным оценкам, оседание воздушных масс в циклоне зимой 2004/05 года составило 6–7 км. Также отмечено, что профили водяного пара, полученные на границе или близко к границе полярного циклона, имеют, как правило, слоистую структуру, свидетельствующую об адвективном перемешивании воздушных масс различного происхождения.

Результаты баллонных измерений водяного пара со станции в Нью-Алесунде в январе 2005 года представляют собой особый интерес, поскольку получены в условиях аномально низких для арктической стратосферы температур. Приведен пример дегидратации воздушной массы за счет оседания ледяных частиц в полярном стратосферном облаке II типа. Делается вывод о том, что «изрезанность» профиля водяного пара в области экстремально низких температур в стратосфере обусловлена процессами конденсации водяного пара.

О спектральной корреляции концентраций газовых компонент загрязнения и метеопараметров

Г.И. Горчаков¹, Е.Г. Семутникова², Р.С. Озерцкий¹

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

² Государственное природоохранное учреждение «Мосэкомониторинг», Москва

Рассчитаны спектры плотности мощности и ко-спектры вариаций концентраций газовых компонент загрязнения и метеопараметров по данным измерений в 2004 г. на сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха в г. Москве. Получены спектральные коэффициенты корреляции между вариациями некоторых компонент загрязнения городской атмосферы на разных постах и между вариациями различных газовых примесей по данным измерений на одном и том же посту.

Проанализированы статистические связи между вариациями метеопараметров в диапазоне временных масштабов от 1 часа до 1 месяца.

**Анализ временной изменчивости концентраций
малых газовых примесей в воздушном бассейне г. Москвы**

*Г.И. Горчаков¹, Е.Г. Семутникова², К.А. Шукуров¹, Е.В. Зоткин¹,
А.В. Карпов¹, Е.А. Лезина³, А.В. Ульяненко¹*

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

² Государственное природоохранное учреждение «Мосэкомониторинг», Москва

³ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва

Проанализированы результаты измерений в 2002–2004 гг. концентраций угарного и сернистого газа, оксида и диоксида азота, формальдегида и ароматических соединений на сети постов автоматического контроля качества атмосферного воздуха в г. Москве. Выявлены основные особенности сезонных, синоптических и внутрисуточных вариаций малых газовых примесей. Получены оценки вкладов внутрисуточных, синоптических и долгопериодных синоптических вариаций концентраций газовых компонент загрязнения в суммарную дисперсию. Рассчитаны спектры плотности мощности вариаций концентраций указанных компонент загрязнения приземного воздуха.

Дистанционное зондирование атмосферы на основе фотометрии лунных затмений

О.С. Угольников, И.А. Маслов

Институт космических исследований РАН, Москва

Во время полных теневого лунного затмения представляется необычная возможность провести дистанционные оптические исследования состояния земной атмосферы над большой территорией вдоль лимба Земли, видимого с Луны. Длина этой территории сравнима с радиусом Земли.

В течение полной фазы затмения прямые солнечные лучи не достигают поверхности Луны, однако она освещается излучением, преломленным и рассеянным в атмосфере Земли. Угол преломления существенно зависит от высоты луча над земной поверхностью. Вследствие большой длины пути касательного луча в атмосфере небольшие неоднородности коэффициента поглощения могут приводить к значительным вариациям оптической плотности тени Земли.

Благодаря большим угловым размерам Луны и ее движению сквозь земную тень во время затмения оптическая плотность может быть измерена на значительной площади тени, что позволит построить радиальную зависимость плотности и исследовать ее азимутальные неоднородности.

Работа основана на фотометрических наблюдениях полных лунных затмений 4 мая и 28 октября 2004 года, выполненных на Южной Станции ГАИШ МГУ (п. Научный, Крым). Полученные распределения оптической плотности внутри земной тени сопоставлялись с данными о состоянии атмосферы в соответствующих районах вблизи лимба Земли.

Аэрозоли и ионизация тропосферы



Кинетика легких, средних и тяжелых ионов при атмосферной ионизации

В.В. Смирнов

Институт экспериментальной метеорологии, НПО «Тайфун», Обнинск

Дается критический анализ современных данных о характере, интенсивностях и временных рамках превращений атмосферных ионов в разных группах подвижностей при различных интенсивностях ионизации и параметрах воздуха, характерных для приземного слоя атмосферы над континентами. Детализируются следующие процессы с участием атмосферных ионов: 1. Гидратация молекулярных ионов МИ, которая превращает их в первичные легкие ионы ПЛИ. В результате старения в реальной атмосфере в течении нескольких секунд ПЛИ преобразуются в комплексные легкие ионы КЛИ. Их структура зависит от газового состава воздуха и возраста иона [1, 2]. 2. Кулоновская ассоциация разнополярных комплексов приводит к появлению нейтральных ионных пар НИП. Средний диаметр НИП 1,5–2 нм. 3. Присоединение к НИП легкого иона дает типичный средний ион СИ диаметром 2,5–3 нм. 4. Ассоциация разнополярных ЛИ и СИ друг с другом и с ионными парами ведет к укрупнению наночастиц до диаметра 3–5 нм [2–4]. 5. Ион-стимулированные притоки аэрозольного вещества обуславливают рост сечения захвата ЛИ и СИ и снижение их концентрации. Соответственно снижаются и прекращаются эмиссии наночастиц. 6. Столкновения ЛИ с аэрозольными частицами приводят к появлению тяжелых ионов ТИ. В ряде случаев при интенсивных потоках ионов модифицируются физико-химическое состояние поверхности частицы и свойства облачных ядер конденсации [2, 3]. 7. Неравновесная ионизация воздуха и/или избирательная селекция аэрозольных частиц по отношению к легким ионам разных знаков приводит к появлению неоднородных электрических полей.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 04-05-64925.

1. *Смирнов В.В.* Изменения ионного, аэрозольного и газового состава воздушной среды при ее радиоактивном загрязнении // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 1992. Т. 28. № 9. С.958–966.
2. *Смирно В.В.* Ионизация в тропосфере. С.-Петербург. Гидрометеониздат. 1992. 312С.
3. *Smirnov V.V., Savchenko A.V.* Ion-Stimulated Nucleation: Role of Impurity Gases // Nucleation and Atmospheric Aerosols-2004. 16th Intern. Conf. Kyoto, Japan.2004. P.281–285.
4. *Смирнов В.В., Я.И. Сальм, Ю.М. Мякела, Ю. Паатеро.* Динамика атмосферного аэрозоля, ионов и минорных газов при вторжениях арктического воздуха // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. №1. С.71–80.

Длиннопериодные и короткопериодные изменения УФ радиации: роль облачности, озона и аэрозоля

Н.Е. Чубарова

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

Ультрафиолетовая радиация характеризуется сильным воздействием на биоту, поэтому ее исследованию уделяется особое внимание. Известно, что поступление УФ радиации к поверхности Земли имеет сильную изменчивость, что определяется ее чувствительностью к влиянию различных атмосферных факторов. Это особенно заметно проявляется в последнее время и связано с усилением антропогенной активности, с одной стороны, и изменениями глобального циркуляционного режима атмосферы — с другой.

Для оценки роли различных факторов в изменчивости уровня УФ радиации для разных масштабов временного усреднения использованы данные наземных измерений УФ радиации в Москве (МО МГУ) и Подмоскovie (Звенигородская Биологическая станция МГУ), а также наблюдения за облачностью, озоном (данные TOMS) и аэрозолем с помощью автоматического солнечного и небесного фотометра CIMEL сети AERONET. Особый интерес представляет определение влияния на уровень УФ радиации дымной мглы, наблюдавшей в Московском регионе летом – осенью 2002 года. Обнаружено существенное изменение аэрозольных свойств атмосферы в этот период, а также заметное поглощение УФ радиации газами в пограничном слое воздуха (в частности, диоксидом азота, формальдегидом и др.). Выявлены различия в уровне УФ радиации при сравнении параллельных измерений в городе и пригороде; обсуждаются возможные причины таких различий.

С помощью независимой информации об общем содержании озона, аэрозоля и облачности и эмпирической модели [Chubarova and Nezval, 2000] восстановлена многолетняя изменчивость УФ радиации и выявлена роль различных атмосферных факторов в ее длиннопериодных колебаниях. Результаты восстановлений УФР показали удовлетворительное согласие с результатами непосредственных измерений УФР за период 1968–2003 г.

Сравнение с результатами спутниковых измерений УФ радиации по данным TOMS (v.7 и v.8) с 1979 г. и METEOSAT с 1984 г. продемонстрировало удовлетворительное согласие с данными измерений в теплый (бесснежный) период и необходимость коррекции данных при наличии снежного покрова, особенно данных TOMS. Показана также необходимость корректного учета аэрозольного ослабления в обоих алгоритмах.

Электрофизические явления, обусловленные нелинейными осцилляциями капель в заряженных жидкокапельных системах естественного происхождения

А.И. Григорьев

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

Заряженная капля во внешнем электростатическом поле является главным структурным элементом разнообразных жидкокапельных систем естественного происхождения: это и туманы и облака всех форм. В этой связи заряженная капля во внутриоблачном электрическом поле часто становилась объектом теоретического и экспериментального моделирования многих электрических явлений в атмосфере: огней св. Эльма, свечение воронок смерчей, инициирования разряда линейной молнии, шаровой молнии, плоской молнии — беззвучного свечения на верхней кромке облаков, «Курильского света» и даже свечения атмосферы — предвестника землетрясений, иногда возникающего над очагом готовящегося землетрясения за несколько десятков секунд до его начала. Как правило, в основе строящихся моделей лежал феномен неустойчивости капли по отношению к собственному или индуцированному внешним электрическим полем заряду, при реализации которого капля сбрасывает избыточный заряд путем эмиссии со своих вершин серии высокодисперсных сильно заряженных капелек, в окрестности каждой из которых зажигается коронный разряд, что и обеспечивает появление световых эффектов. Все предложенные модели имеют право на существование, но содержат один недостаток: регистрируемые при натуральных наблюдениях собственные заряды капель и напряженности внутриоблачных электрических полей существенно меньше необходимых для реализации обсуждаемого вида неустойчивости капли. И все-таки выход из создавшегося положения существует и связан с результатами аналитических расчетов нелинейных осцилляций заряженных капель в электростатических полях. Оказалось, что зажигание коронного разряда при измеряемых напряженностях внутриоблачных электрических полей, возможно непосредственно у вершин нелинейно осциллирующих капель. Указанный механизм начинает действовать при достаточно больших амплитудах нелинейных осцилляций и указывает, в частности, на важную роль коронного разряда с вершин осциллирующих капель в формировании электрического тока в облаке. Раскачка нелинейных осцилляций капель происходит за счет реализации нелинейного внутреннего резонансного взаимодействия мод, при котором энергия из высоких мод перекачивается в основную.

Метод «по прямому солнцу»: итерационный алгоритм определения ОСО и УФ спектров аэрозольной оптической толщины атмосферы

И.Ю. Сидорович

Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы, Минск

Оптические характеристики атмосферных аэрозолей в УФ области спектра в настоящее время недостаточно изучены. Это обусловлено перекрытием указанного диапазона интенсивными полосами поглощения атмосферного озона и отсутствием эффективных алгоритмов для разделения общей оптической толщины атмосферы на отдельные составляющие. Как правило, существующие методики либо, рассчитывая ОСО, пренебрегают спектральными свойствами аэрозолей в УФ области, либо, исследуя спектры аэрозолей, пользуются априорными (часто усредненными, сезонными, региональными и т.п.) значениями ОСО.

Цель настоящей работы: разработка эффективного алгоритма для одновременного восстановления «мгновенных» УФ спектров аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы и значений ОСО из данных измерений, проведенных методом «по прямому солнцу».

Исследования проведены на Минской озонометрической станции с помощью универсального спектрометра-озонометра ПИОН, разработанного в Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы Белгосуниверситета.

Основные результаты. Предложен итерационный алгоритм определения ОСО и УФ спектров АОТ, экспериментальной основой которого является измерение интенсивностей приземного солнечного излучения на 13 рабочих длинах волн спектрометра-озонометра ПИОН в области 297–317 нм. В качестве «нулевого приближения» (Forward model) использованы значения ОСО, определенные из экспериментальных данных по методике, описанной в работе [1], внеатмосферные солнечные факторы, определенные калибровкой прибора по методу Лэнгли и модельные значения АОТ, вычисленные по формуле Ангстрема [2]. Влияние молекулярного рассеяния учитывалось в соответствии с данными работы [3]. Исследованы эффективность и устойчивость предложенного алгоритма, а также его модификаций. Рассчитаны УФ спектры АОТ по данным измерений на Минской озонометрической станции за 2003–2004 гг.

1. Людчик А.М., Красовский А.Н., Турьшев Л.Н., Неверович Л.Ч. Об эффективности многоволновой методики определения содержания озона в атмосфере УФ спектрометрами-озонометрами // Журн. Прикладной спектроскопии, 1991, Т. 55, № 3, С.472–477.
2. Атмосфера. Справочник. Под ред. Ю.С. Седунова, Л., Гидрометеиздат, 1991, 509С.
3. Frolich C., Shaw G.E. New determination of Ragleigh scattering in the terrestrial atmosphere // Appl. Opt., 1980, V. 19, № 11, P.1773–1775.

Влияние направления переноса на состав воздуха в приземном слое атмосферы по наблюдениям в районе пос. Годжур (Калмыкия)

А.А. Машковцева, А.И. Скороход, А.А. Волох

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

Данная работа посвящена анализу данных, полученных в районе пос. Годжур (47,60°с.ш., 44,45°в.д.) в июне – июле 2002 и 2003 гг. Годжур расположен на перекрестке основных направлений перемещения воздушных масс с запада, юго-востока, северо-востока, поэтому мониторинг именно в этой точке позволяет определить вклад естественных и антропогенных источников в химию нижней атмосферы данного региона. Калмыкия привлекает внимание в связи с неблагоприятной экологической обстановкой, сложившейся в регионе в последние годы. Поскольку на территории Калмыкии нет крупных промышленных объектов, то большая часть загрязнений, в числе которых предшественники галогенсодержащих соединений и озона, поступает вместе с воздухом из других регионов (Западная и Центральная Европа, Донбасс, Центральная Россия, Астраханская и Волгоградская области). Засушливый климат этого региона способствует интенсивной генерации токсичных соединений, которые негативно влияют на растительность и здоровье человека.

В работе используются наблюдения приземных концентраций озона, оксида и диоксида азота, сажевого аэрозоля, массовой концентрации аэрозоля, метеорологических параметров (температуры воздуха, относительной влажности, солнечной радиации, скорости и направления ветра, давления), а также концентрации летучих органических соединений и брома в воздухе.

На основе полученных данных были сделаны выводы о влиянии направления переноса на состав воздуха. Были выделены режимы, которые отличаются по химическому составу принесенного воздуха, что проявляется, в частности, в суточном ходе озона, сильно зависящего от присутствия других химически активных компонентов. Отмечено, что концентрации сажи, субмикронного аэрозоля, а также брома и органических веществ выше при антициклонах, движущихся с востока.

О связи турбулентных потоков аэрозоля, водяного пара и тепла с характеристиками завихренности

Г.И. Горчаков, К.А. Шукуров

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

Показано, что вертикальный перенос аэрозоля, водяного пара и тепла в конвективном приземном слое атмосферы обеспечивается восходящими и нисходящими конвективными потоками. Установлено, что восходящие конвективные потоки отличаются от нисходящих повышенным уровнем турбулентности и повышенной завихренностью. Определены компоненты завихренности, составляющие спиральности и энстрофии. Проанализированы взаимосвязи между компонентами завихренности и составляющими спиральности. Выполнено сопоставление мгновенных вертикальных потоков аэрозоля, водяного пара, тепла и энстрофии при контролируемом режиме турбулентности.

Исследование вариаций оптических характеристик и микроструктуры городского аэрозоля

Г.И. Горчаков, А.А. Исаков, А.В. Карпов, В.М. Копейкин, К.А. Шукуров

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

Подготовлен комплекс аппаратуры для исследования свойств городского аэрозоля. Проведены измерения функции распределения частиц субмикронного и грубодисперсного аэрозоля, спектральных зависимостей коэффициента направленного светорассеяния, массовых концентраций субмикронного и сажевого аэрозоля. Проанализирована временная изменчивость дифференциальных счетных концентраций нескольких фракций аэрозоля.

Выполнено сопоставление вариаций коэффициентов рассеяния и поглощения. Получены оценки вероятности выживания кванта для городского аэрозоля в приземном слое атмосферы.

Электромагнитное излучение линейно осциллирующей заряженной капли конечной проводимости

А.С. Голованов, И.Г. Жарова, О.С. Крючков

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

В линейном приближении по амплитуде осцилляций решена задача о расчете интенсивности электромагнитного излучения, связанного с капиллярными колебаниями вязкой заряженной капли конечной проводимости. Математическая формулировка задачи состоит из уравнений гидродинамики вязкой несжимаемой жидкости и уравнений Максвелла со стандартными граничными условиями. Получено и проанализировано дисперсионное уравнение задачи.

Из анализа дисперсионного уравнения задачи, выяснилось, что рост проводимости, не оказывая влияния на декременты затухания капиллярных осцилляций и полоидальных движений жидкости, приводит к линейному увеличению декремента затухания. Также выяснилось, что частота капиллярных осцилляций капли также не зависит от проводимости жидкости. Интересно отметить, что на капиллярные волны с большой частотой могут накладываться быстро затухающие волны малой частоты, возникающие в результате взаимодействия полоидальных движений жидкости и движений жидкости, связанных с перемещением носителей заряда. Строго говоря, движения жидкости не являются волновыми, поскольку декремент их затухания во всех случаях заметно превышает значения частот, а потому эти движения следует интерпретировать как аperiodические. Также анализ дисперсионного уравнения указывает на наличие зависимости декремента затухания капиллярных осцилляций капли с конечной проводимостью от величины электропроводности и поверхностной плотности заряда. Численные расчеты показывают, что величина декремента затухания капиллярных осцилляций капли, связанного с излучением ею электромагнитных волн, растет в представляющем интерес с позиций возможных приложений в геофизике диапазоне значений электропроводности жидкости и поверхностной подвижности носителей заряда по линейному закону. Найден закон изменения интенсивности электромагнитного излучения от декремента затухания, согласно которому интенсивность меняется по экспоненциальному закону.

О коронном разряде с капли, нелинейно осциллирующей в электрическом поле

А.Н. Жаров, М.В. Волкова, О.С. Крючков

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

Коронный разряд с капель воды в электрически активных облаках вносит существенный вклад в формирование электрического тока в атмосфере. В этой связи исследование закономерностей зажигания коронного разряда с облачных капель представляет значительный интерес. Если подходить к этой проблеме на основе линейной теории, то никакого коронного разряда в окрестности облачных капель зажечься не может, поскольку величины собственных зарядов капель и внутриоблачных электрических полей слишком малы. Учет реальной нелинейности осцилляций капель, подвешенных в облаке в восходящих потоках, показал, что при фиксируемых в облаках максимальных зарядах капель у их вершин при нелинейных осцилляциях коронный разряд может зажечься. В этой связи возникает другой вопрос: может ли зажечься коронный разряд в окрестности незаряженных нелинейно осциллирующих капель при их поляризации во внутриоблачных электрических полях. С точки зрения математического анализа указанная задача представляет значительные математические трудности, поскольку сфероидальность равновесной формы капли в однородном внешнем электростатическом поле при аналитических асимптотических расчетах ее осцилляций в сферической системе координат приводит к появлению двух малых параметров: амплитуды равновесной сфероидальной деформации и амплитуды нелинейных осцилляций. Тем не менее, такая задача разрешима. В аналитических асимптотических расчетах порядка $5/2$ по амплитуде деформации сферической формы капли идеальной несжимаемой электропроводной жидкости, нелинейно-осциллирующей во внешнем однородном электростатическом поле, найдено выражение для напряженности поля в ее окрестности. Выяснилось, что напряженность суммарного электрического поля на вершинах капли превышает необходимую для зажигания коронного разряда уже при напряженности поля, на порядок меньшей критического значения, при котором реализуется неустойчивость капли по отношению к индуцированному заряду, т.е. при величине напряженности внешнего электростатического поля, регистрируемой в натурных наблюдениях в грозовых облаках. Сказанное делает также актуальным детальное рассмотрение возможности инициирования разряда молнии с коронного разряда в окрестности крупной капли.

Об усилении внешнего электрического поля на гребнях нелинейных волн в слое жидкости конечной толщины

С.А. Курочкина, А.В. Климов, Д.С. Заплевичко

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

В формировании электрического тока между протяженной водной поверхностью и облаками (над морями и океанами) определенную роль играют электрические разряды с заостренных гребней волн, в малой окрестности которых может иметь место существенное увеличение напряженности электрического поля между землей и облаками. В этой связи представляет интерес решение задачи о расчете электрического поля над свободной поверхностью жидкости, имеющей конечную глубину, по которой бежит нелинейная капиллярно-гравитационная волна. Решение такой задачи в четвертом порядке малости по отношению амплитуды волны к ее длине позволило найти выражение для распределения потенциала электрического поля над искаженной волновым движением свободной поверхностью жидкости, а также форму профиля нелинейной волны. Численные расчеты показали, что величина напряженности электрического поля над гребнями волн достигает величины, при которой зажигается коронный разряд, уже при напряженности внешнего электрического поля порядка сотни В/см. Электрический заряд, индуцируемый на поверхности воды электрическим полем между облаками и водой, приводит к увеличению радиуса кривизны гребней капиллярных волн и к усилению напряженности электрического поля в их окрестности. Влияние конечности толщины слоя жидкости существенно сказывается на форме профилей волн и на величине напряженности электрического поля у их гребней только в ситуации, когда произведение толщины слоя на волновое число меньше единицы. Знак и величина нелинейных поправок сложным образом зависят от толщины слоя, поверхностной плотности индуцированного заряда и длины волны.

Роль нелинейного взаимодействия волн в формировании условий зажигания огней святого Эльма

Д.Ф. Белоножко, С.А. Санасарян, А.С. Голованов

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

Теоретически исследовано влияние нелинейного взаимодействия капиллярных волн на заряженной поверхности вязкой жидкости на закономерности распределения по ней гребней волн с наибольшей кривизной. Эти вершины являются зародышами эмиссионных выступов, которые формируются на нелинейной стадии развития неустойчивости заряженной поверхности жидкости по отношению к избытку электрического заряда. В свою очередь каждый эмиссионный выступ является очагом зажигания факела огня Св. Эльма, — свечения самоподдерживающегося за счет фотоионизации коронного разряда, вокруг маленьких заряженных капелек, эмиттированных эмиссионным выступом.

В процессе исследования впервые решена задача о расчете физических характеристик волнового пакета Стокса, образованного двумя волнами с близкими длинами, на заряженной поверхности жидкости. Математическая формулировка задачи представляет собой классический набор уравнений электрогидродинамики идеальной, идеально проводящей, капиллярной, тяжелой, бесконечно глубокой жидкости произвольной вязкости с заряженной свободной поверхностью. Задача решена во втором приближении по величине амплитуды волн формирующих волновой цуг Стокса. В полученном решении впервые корректно учтена вязкость и влияние нелинейного взаимодействия между волнами, составляющими волновой пакет на характер эволюции формы несущей и огибающей. Выяснилось, что нелинейное взаимодействие особенно сильно проявляется в волновых цугах со средним значением волнового числа в 0,7 от величины обратной капиллярной постоянной. По этой причине указанные волновые цуги отличаются от других цугов той же амплитуды большим значением кривизны вершины огибающей. Очевидно, что гребни несущей волны, расположенные непосредственно под вершиной огибающей, имеют наибольшую кривизну, и являются наиболее вероятными местами зарождения эмиссионного выступа. Частота расположения таких гребней на поверхности жидкости определяется характерным размером огибающей. Таким образом, получено среднее значение волнового числа для периодического волнового цуга, который на начальной стадии развития неустойчивости заряженной поверхности жидкости, отвечает за частоту пространственного распределения мест формирования эмиссионных выступов, — очагов зажигания факела огня Св. Эльма.

Индукционные неустойчивости зарядки в грозовом облаке

А.Е. Сорокин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Известно, что в формировании крупно и мелкомасштабных электрических полей в грозовом облаке участвует множество как микро так и макрофизических факторов. Основную роль при этом играют процессы зарядки облачных частиц. В данной работе рассмотрено как отдельное, так и совместное влияние индукционных механизмов зарядки на развитие неустойчивых мод электризации для 1D системы, содержащей легкие и тяжелые частицы, а также ионы обоих знаков движущиеся в потоке газа во внешнем электрическом поле.

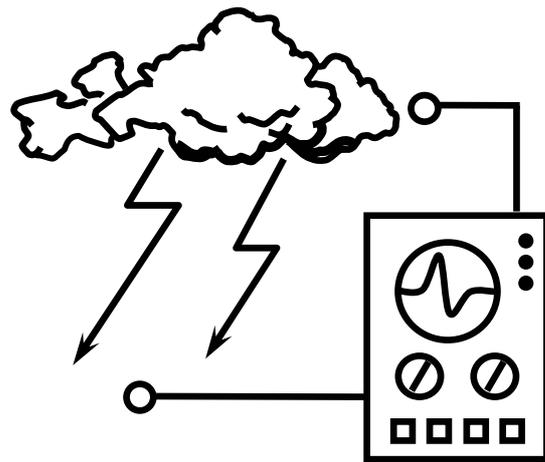
К первому классу индукционных механизмов относится индукционная зарядка (IC) при соударении частиц. Микрофизика данного механизма исследована в [1] и использовалась при численном моделировании грозовой ячейки в [2]. В работе [3] была подробно исследована динамика одномерной многофазной модели с IC. Были изучены как стационарные состояния системы, так и ее динамика, выведены дисперсионные соотношения. Показано, в частности, что наибольшим инкрементом неустойчивости обладают длинноволновые возмущения с волновыми числами $k \ll k_t$, где k_t — пороговое волновое число, и что в системе может возбуждаться целый спектр продольных мод электризации с $0 < k < k_t$. Здесь предполагалось, что частицы взаимодействуют с ионами только противоположного знака и их заряд превышает максимальный поляризационный заряд в заданном поле. Однако при определенных условиях реализуется селективный ионный индукционный механизм зарядки (SIC), впервые введенный в [4] и исследованный для единичной проводящей сферы в [5, 6]. В настоящей работе был изучен SIC механизм в распределенной одномерной среде, состоящей из ионов и монодисперсных частиц с заданной концентрацией. Так же, как и для IC, исследован стационар и динамика возмущений электрического поля и пространственного заряда. Найдены инкременты неустойчивости и пороги k_t . Заметим, что неустойчивость SIC реализуется только для медленных ионов, дрейфовая скорость которых меньше скорости движения потока газа относительно частицы. С ростом электрического поля в облаке эффективность SIC падает. Однако при этом возрастает дисперсия размеров частиц и, как следствие, межчастичные соударения, что приводит к развитию неустойчивости IC. Такое эволюционное «переключение» с одного типа неустойчивости на другой приводит к непрерывному росту крупномасштабного электрического поля.

Представляет отдельный интерес совместное действие IC и SIC в многофазной среде. С этой целью была рассмотрена 4-х компонентная модель

состоящая из тяжелых и легких частиц, а также ионов. Показано, что вклады в неустойчивость от IC и SIC в общем случае несимметричны — одна группа частиц всегда имеет ток SIC противоположный току IC. Численно исследованы стационарные состояния, а также динамика системы для ионов разной подвижности.

1. *Mason J., F.R.S.* The Generation of Electric Charges and Fields in Thunderstorms // Proc. of the Royal Society of London. 1988. V. 415. № 1829. P.303–315.
2. *Baker M.B., Latham J., Norville K.* A Numerical Study of Thunderstorm Electrification: Model Development and Case Study // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. P.7463–7481.
3. *Mareev E.A., Sorokin A.E., Trakhtengerts V.Yu.* Effects of collective charging in a multiflow aerosol plasma // Plasma Physics Reports. 1999. V. 25. № 3. P.261–272.
4. *Wilson C.T.R.* // J. Franklin Inst. 1929. V. 12, 208.
5. *Chalmers J.A., Whipple F.J.* On Wilson's theory of the collection of charge by falling drops // Quart. Journal of Royal Meteorological Society. 1944. V. 70. № 304. P.103–120.
6. *Sorokin A.E.* Selective ion charging of droplets under arbitrary oriented electric field // Proc. 12 International Conference on Atmospheric Electricity, 9–13 June, Versailles, France. 2003. P.253–257.

Электродинамика атмосферы



Состояние исследований грозового электричества

Е.А. Мареев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Дан краткий обзор современного состояния проблемы изучения грозового электричества. Приведены результаты некоторых последних экспериментов, существенно углубивших представления о грозовом электричестве и потребовавших совершенствования теории.

Основное внимание уделено следующим достижениям и проблемам:

- Особенности формирования грозовых облаков в разных метеорологических условиях. Мезомасштабные конвективные системы.
- Электризация грозового облака на разных стадиях его развития. Проблемы моделирования.
- Крупномасштабное распределение поля и заряда и тонкая структура распределения поля грозовых облаков.
- Стадия инициации молнии. Убегающие электроны и генерация высокоэнергичного излучения.
- Статистика и энергетика молниевых вспышек.
- Радиоизлучение грозового облака. Триггерная молния.
- Высотные разряды в атмосфере: морфология, механизмы, роль в глобальной цепи и химии средней атмосферы.
- Роль космических лучей (в том числе широких атмосферных ливней) в развитии грозы.
- Роль грозовых генераторов в глобальной цепи.
- Вклад грозовых явлений в химию атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Отделения физических наук РАН «Физика атмосферы: электрические процессы, радиофизические методы исследований».

Генераторы электрических зарядов в атмосфере Земли

Ю.И. Стожков¹, В.И. Ермаков²

¹ Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва

² Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный

Рассмотрены основные генераторы электрических зарядов в атмосфере Земли. В приземном слое атмосферы таким генератором являются продукты распада радиоактивных газов, поступающих из поверхностного слоя Земли, и космические лучи. Выше, в тропосфере и стратосфере, электрические заряды создаются космическими лучами через процесс ионизации атомов атмосферы, в ионосфере — рентгеновским, ультрафиолетовым и корпускулярным излучением Солнца. Основным поставщиком зарядов в магнитосферу является солнечный ветер. В тропосфере в районах грозных облаков основным источником ионизации являются молниевые разряды. Приведены данные о временных вариациях скоростей образования различных зарядов этими генераторами.

Физический механизм образования грозových облаков

В.И. Ермаков², Ю.И. Стожков¹

¹ Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный
² Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва

Рассмотрен физический механизм образования грозových облаков, в основе которого лежат 3 положения. Во-первых, разноименные электрические заряды в стадии зарождения грозového облака образуются в результате ионизации атмосферы космическими лучами и радиоактивными газами. Во-вторых, макромасштабное разделение зарядов в облаке происходит в процессе образования капель на разноименно заряженных ядрах конденсации. В-третьих, молниевые разряды проходят преимущественно по ионизованным следам космических лучей. При образовании молниевых разрядов определяющую роль играют космические частицы сверхвысоких энергий ($\epsilon \geq 10^{14}$ эВ) которые образуют в атмосфере широкие атмосферные ливни (ШАЛ).

Короткопериодные пульсации аэроэлектрического поля

С.В. Анисимов

Геофизическая Обсерватория «Борок» ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН, Борок

Динамика состояния аэроэлектрического поля, объемного заряда и составляющих электрического тока приземного слоя связана с турбулентным перемешиванием заряженных частиц, конвективным переносом аэроионов и аэрозолей в нижней атмосфере [1]. В докладе рассмотрены результаты исследований короткопериодных пульсаций ($\Delta f \cong 10^{-3}$ –1 Гц) аэроэлектрического поля, в основе которых — натурные полевые наблюдения с использованием метода разнесенного приема. Презентация объединяет цикл работ по морфологии турбулентных аэроэлектрических пульсаций, анализу их структурных и спектральных характеристик, разработке метода структурно-временного анализа, обнаружению когерентных аэроэлектрических структур, исследованию взаимосвязи структурных и спектральных характеристик в интервале самоподобия [2–5]. Приведены результаты применения структурно-временного алгоритма, дано описание пространственно-временных характеристик аэроэлектрических структур (АэлС) и основные выводы теоретической модели формирования и эволюции АэлС. Обосновано предположение о том, что АэлС, характеризуя электродинамические свойства как свободной, так и возмущенной атмосферы, могут служить элементом диагностики электрических процессов в приземном слое атмосферы. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №05-03-64449) и Программы ОНЗ РАН «Физика атмосферы: электрические процессы, радиофизические методы исследований».

1. Hoppel W.A., Anderson R.V., Willet J.C. Atmospheric Electricity in the Planetary Boundary Layer // The Earth's Electrical Environment. Krider, E.P. and Roble, R.G., Eds. – Washington: Natl. Acad. Press. 1986. P.149–165.
2. Anisimov S.V., Bakastov S.S., Mareev E.A. Spatiotemporal structures of electric field and space charge in the surface atmospheric layer // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. P.10603–10610.
3. Anisimov S.V., Mareev E.A., Bakastov S.S. On the generation and evolution of aeroelectrical structures in the surface layer // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P.14359–14367.
4. Anisimov S.V., Mareev E.A., Shikhova N.M., Dmitriev E.M. Universal spectra of electric field pulsation in the atmosphere // Geophys. Res. Letters. 2002. V. 29, № 24, 2002GL015765.
5. Анисимов С.В., Шихова Н.М., Мареев Е.А., Шаталина М.В. Структуры и спектры турбулентных пульсаций аэроэлектрического поля // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 6. С.765–780.

Плазмохимическая модель влияния спрайта на состав мезосферы

А.А. Евтушенко, Е.А. Мареев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В данной работе предпринята попытка проанализировать влияние электрических разрядов — спрайтов на баланс малых составляющих мезосферы. Как стало известно в последнее время, вспышка спрайта приводит к увеличению температуры электронов до 15000 К на временах порядка десятков микросекунд. Как следствие, увеличивается концентрация электронов и заряженных частиц. В работе предложена система реакций, позволяющая описать сложную взаимосвязь химических компонентов в нижней ионосфере. Она включает в себя нейтральные компоненты (17), отрицательные ионы (9), положительные ионы и ионы-связки (23) и электроны — всего 50 компонентов и 200 реакций между ними. Как показало моделирование вспышки спрайта, значительно возмущаются 10 компонентов, которые можно разделить на 2 группы: компоненты с малыми (O^+ , N_4^+ , O^- , N_2^+ , O_3^-), и большими (электроны, атомарный азот, O_2^+ , NO^+ , $O_2(^1\Delta_g)$) временами релаксации возмущения концентрации по сравнению с характерным временем 0,01 с.

По результатам численного счета можно сделать следующие выводы:

1) Вследствие увеличения скорости образования электронов и уменьшения скорости их гибели во время вспышки должно иметь место существенное возмущение концентрации электронов (с 4000 см^{-3} до 28000 см^{-3}).

2) Время релаксации электронов составляет порядка 10 с, что согласуется с косвенными измерениями (Dowden L. et al., Roussel-Dubre R.A. et al.), показывающими, что время релаксации электронной концентрации на исследуемых высотах должно составлять от нескольких секунд до десятка секунд.

3) В результате численного счета выяснилось, что не все компоненты, входящие в систему реакций, изменяются в результате вспышки спрайта, либо изменение их концентраций незначительно. Также присутствуют компоненты, которые «появляются» во время вспышки, то есть их концентрация становится заметной. Но время их релаксации оказывается малым.

4) В численных расчетах анализировалась одноточечная задача, то есть диффузия электронов не учитывалась. Оценки показывают, что учет турбулентной диффузии может иметь заметное влияние на время жизни электронов.

Модели возникновения аэроэлектрических структур в конвективном погранслое

М.В. Шаталина, Е.А. Мареев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Одним из наиболее широких классов турбулентных движений является так называемая термическая турбулентность, представляющая собой пульсации вертикальной скорости воздуха, обусловленные силой Архимеда, действующей на частицы воздуха. Термическая турбулентность, таким образом, является следствием развития атмосферной конвекции, т.е. вертикальных перемещений отдельных порций воздуха, обусловленных отличием их плотности от плотности окружающего воздуха. Конвекция порождается либо неустойчивой стратификацией атмосферы (самопроизвольная конвекция), либо неоднородным нагревом подстилающей поверхности (контактная конвекция). В погранслое обычно имеют место оба механизма конвекции [1]. Кроме того, как было установлено в последнее время, пограничный слой атмосферы характеризуется наличием аэроэлектрических структур, проявляющихся в короткопериодных (с периодами от единиц до нескольких сотен секунд) пульсациях электрического поля. Формируясь в результате захвата конвективными ячейками положительных и отрицательных заряженных частиц, аэроэлектрические структуры перемещаются в потоке воздуха вдоль земной поверхности. Предложенный в работе [2] метод пробных структур дает возможность построения модели таких конвективных заряженных ячеек.

В настоящей работе рассматриваются модели возникновения аэроэлектрических структур в конвективном погранслое атмосферы. Рассмотрена модель конвективного пузыря, заполненного электрическим зарядом. Проанализировано влияние аэрозоля на время жизни возмущений электрического заряда.

1. Винниченко Н.К., Пинус Н.З., Шметер С.М., Шур Г.Н. Турбулентность в свободной атмосфере. Л.: Гидрометеиздат. 1976. 288С.
2. Анисимов С.В., Шихова Н.М., Мареев Е.А., Шаталина М.В. Структуры и спектры турбулентных пульсаций аэроэлектрического поля // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39, № 6. С.765–780.

Новая газодинамическая модель главной стадии молнии. Построение и результаты

А.В. Бирюков, Е.А. Мареев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Общая энергетика молний на Земле, возможно, является важным фактором глобальных климатических явлений. Чтобы оценить ее, нужно знать связь между энерговыделением в канале молнии и параметрами, доступными измерениям (например, световое и звуковое излучение). В настоящее время существуют модели, позволяющие в предположении радиальной симметрии рассчитывать температуру, давление, плотность в канале молнии как функции времени и цилиндрического радиуса, т.н. газодинамические модели. Предсказания таких моделей касаются процентов от вложенной в канал энергии, израсходованных на свет, кинетическую и внутреннюю энергию газа. Цифры, предсказываемые различными моделями, отличаются друг от друга и от экспериментальных данных.

В данной работе на основе анализа существующих предложена новая модель. Показана важность влияния собственного магнитного поля на динамику плазменного канала и необходимость расчета спектра выходящего излучения. Объяснена разница в два порядка в значении вложенной в канал энергии между предсказаниями газодинамических моделей и измерениями.

Модель содержит уравнения газовой динамики с подводом джоулева тепла и световым подогревом, уравнение переноса излучения и дополнительное уравнение на электрический ток, магнитное поле и проводимость. Уравнение состояния (позволяющее рассчитывать внутреннюю энергию, давление и состав плазмы по известной температуре и плотности), общий ток как функция времени, начальные профили температуры и плотности газа, коэффициент поглощения как функция частоты и состояния газа считаются известными.

Программа рассчитывает на каждом временном шаге профили температуры, плотности, давления, скорости газа, интенсивности света, сопротивление единицы длины канала, спектр выходящего излучения, суммарные вложенную, кинетическую, внутреннюю энергии. Отличие наших результатов от результатов предшественников обсуждается. Представлены некоторые соображения о дальнейшем прогрессе газодинамических моделей.

Регистрация в Москве мощного землетрясения 26 декабря 2004 года и реакция озоносферы, электросферы, ионосферы на это событие

*О.В. Белоносова¹, Е.В. Барковский², В.В. Борог¹, С.Н. Нетреба³,
С.П. Перов⁴, С.Ф. Тимашев⁵*

¹ Московский инженерно-физический институт, Москва

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

³ Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск

⁴ Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный

⁵ Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я.Карпова, Москва

В 2004–2005 гг. проведены синхронные наблюдения в различных пунктах наблюдений над центром Европейской территории России с использованием уникальных комплексов аппаратуры, методов и подъемных средств. Были использованы комплексы наземной аппаратуры (микробарографов, сейсмо-наклономеров, микроволновых радиометров для измерения температуры в погранслое атмосферы, аэрологических комплексов национальной сети, озонометрической сети СНГ в т. ч. мюонный годоскоп-томограф ТЕМП, созданный в МИФИ, для слежения за движением трехмерных структур солнечной плазмы, чтобы исследовать физические механизмы воздействия солнечной активности (СА) на атмосферу и другие геосферы). ТЕМП позволяет проводить непрерывный мониторинг характеристик тропо- и стратосферы, в т. ч. непрерывную регистрацию внутренних гравитационных волн, температуры и эффективной толщины слоя озона, что позволит осуществить валидацию данных новых спутников типа EOS Chem, а также профилей температуры, получаемых из систем GPS и ГЛОНАСС, на новой методической основе. В работе мы кооперировались с группой НПО «Тайфун», где реализован многофункциональный радиодинамический комплекс: 1) 5-канальный микробарограф с пороговой чувствительностью 0,2 мкбар; 2) сейсмоприемник А0531 с полосой пропускания 0,1–100 Гц; 3) радиометры оптического, инфракрасного и гамма-диапазонов; 4) радиометр дециметрового диапазона 1070–2140 МГц.

Обсуждаются результаты наблюдений солнечных, лунных и сейсмогравитационных воздействий на атмосферу над Москвой (в т. ч. во время катастрофического землетрясения (ЗТ) в Индийском океане около Сев. Суматры 26.12.2004 г. — одного из самых мощных землетрясений за 100-летний период инструментальных наблюдений) и центром ЕТР (путем организации экспедиции). Важнейшим результатом является предварительный вывод о возможном воздействии этого ЗТ (а также геодинамических и космофизических процессов, предшествующих ЗТ) на атмосферные процессы над центром ЕТР.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты 03-05-64790 и 04-05-79084).

К вопросу о разделении объемного заряда легких ионов и заряженных аэрозолей

Т.В. Кудринская¹, В.Н. Морозов², Г.Г. Петрова³

¹ Донской педагогический колледж, Ростов-на-Дону

² Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург

³ Ростовский государственный педагогический университет, Ростов-на-Дону

Влияние аэрозольной составляющей атмосферы (в частности приземного слоя) сказывается на ее электрическом состоянии, на распределении электрических характеристик (проводимости, напряженности электрического поля, плотности заряда).

В настоящей работе сделана попытка разделения плотности объемного заряда легких и тяжелых ионов, а также решается задача оценки концентрации аэрозольных частиц.

По результатам полевых измерений можно определить как величину объемного заряда легких ионов (по значениям проводимости), так и суммарный объемный заряд (по значениям напряженности электрического поля). В общем случае, если известны измерения напряженности электрического поля на двух уровнях, можно определить интегральную плотность объемного заряда: $dE_z/dz = 4\pi(\rho_1 + \rho_2)$, где ρ_1 — объемный заряд легких ионов, а ρ_2 — плотность объемного заряда, создаваемого тяжелыми однозарядными ионами.

При расчетах использовалась стационарная система уравнений нетурбулентного электродного эффекта, в предположении, что количество ядер конденсации (аэрозольных частиц) в атмосфере сравнимо с числом легких ионов, ядра стационарны и имеют постоянную концентрацию.

По результатам экспериментальных исследований были выбраны данные по значениям напряженности электрического поля и проводимости, удовлетворяющие условиям классического электродного эффекта. На основании этих данных рассчитаны значения концентрации аэрозольных частиц для различных пунктов наблюдений. Проведен анализ плотности объемного заряда легких ионов и аэрозолей для различных аэродинамических условий.

Разработка метода оценки спектральных составляющих сигналов ультранизкочастотного диапазона

*В.А. Мишин, М.С. Соколов, С.В. Елисеева, А.В. Тарасов,
А.В. Киселев, А.А. Закиров*

Владимирский государственный университет, Владимир

В экспериментальных исследованиях 2004 года осуществлены синхронные регистрации электромагнитного поля приземного слоя атмосферы ультранизкочастотного диапазона тремя разнесенными в пространстве станциями, оснащенными приемно-регистрирующей аппаратурой, созданной в ВлГУ: полигон ВлГУ; станция в радиофизическом корпусе ВлГУ; флюксметр разработки ВлГУ, установленный в ГГО НИЦ ДЗА.

На основании накопленного экспериментального материала, полученного на сети разнесенных в пространстве станций и разработанного модифицированного варианта оптимального приемника открывается возможность анализа в фазовой плоскости характеристик спектральных компонент электрического поля приземного слоя атмосферы. Известно, что фаза сигнала имеет наибольшую устойчивость при воздействии шумов. Это обстоятельство может повысить достоверность получаемых результатов при анализе спектральных компонент на частотах лунно-солнечных приливов. Один из важных элементов данных исследований связан с разработкой метода оптимальной оценки уровня каждой спектральной компоненты анализируемого временного ряда. С этой целью была осуществлена модернизация оптимального квадратурного приемника с целью минимизации уровня боковых лепестков его частотной характеристики, что позволило повысить достоверность результатов спектрального анализа с помощью оптимального приемника, проводимого по экспериментальным данным электрического и магнитного поля приземного слоя атмосферы. Применение в ККП фильтра низких частот позволило улучшить его частотную характеристику при незначительном расширении главного лепестка. Если уровень сигнала в полосе подавления ФНЧ будет не менее 20 дБ, то уровень боковых лепестков снизится в 2 раза.

Разработанный метод позволил получать оптимальную оценку уровня каждой спектральной компоненты анализируемого временного ряда по критерию максимального правдоподобия.

Работа проводится при поддержке РФФИ — грант № 04-05-64895 и программы НТП Минобразования № 209.06.01.035.

Механизмы зарядки и конденсации в атмосфере

К.А. Боярчук, А.В. Карелин, Р.В. Широков

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, Троицк

Наиболее эффективно конденсация во влажной приземной атмосфере идет по следующему механизму: вследствие высокой концентрации паров воды образование капель сначала идет в результате ассоциации нейтральных молекул, затем к ним со скоростью поляризационного захвата присоединяются ионные кластеры, образовавшиеся в результате плазохимических реакций, развивающихся под воздействием внешнего ионизирующего излучения; что, в свою очередь, приводит к затруднению отрыва молекул воды от заряженных капель вследствие более высокой энергии связи и ускорению их удаления из объема под воздействием атмосферного электрического поля. Существенную роль в конденсации играет присутствие в атмосфере молекул, обладающих высоким дипольным моментом и поляризуемостью (например, окислов кремния).

Заряды в атмосфере возникают в результате ионизации с последующей конкуренцией рекомбинации, прилипания, конденсации и выпадения в виде капель под действием силы тяжести. Относительно низкая скорость рекомбинации обусловлена малой подвижностью тяжелых кластерных ионов, а также возбуждением вращательно-вращательных переходов и развалом нейтральных кластеров радиоизлучением Солнца.

Основным механизмом зарядки аэрозолей радиусом менее 100 мкм будет диффузионно-дрейфовый механизм, который состоит в том, что до определенной для каждой капли величины заряда преобладает диффузионный механизм зарядки, а после его запираания вследствие электростатического отталкивания начинает преобладать дрейфовый механизм зарядки. Именно действие этого комбинированного механизма обеспечивает аномально сильную флуктуацию электрических полей в приземном слое в тумане.

Асимметрия зарядки капель является следствием разницы в энергиях сродства протона к атомам и электрона к молекулам. Вследствие этого, в результате прилипания заряженной частицы к капле происходит испарение группы молекул, которые уносят избыток энергии, но для положительных капель испаряется много больше молекул, чем для отрицательных. И это является ограничителем размера положительно заряженных капель. Ибо, с одной стороны, на каплю определенного размера не сядет зарядов более определенного количества из-за кулоновского барьера, а с другой стороны — происходит большое испарение. Следует также учитывать подвижность ионов и влияние электрического поля, которое тоже может вносить свою лепту в асимметричность зарядки.

Образование ионных каналов в грозовых облаках

А.С. Фоменко, Т.В. Лосева, И.В. Немчинов

Институт динамики геосфер, Москва

Измерения электрических полей в грозовых облаках дают значения электрического поля не более 200–400 кВ/м (MacGorman and Rust, 1998). Эти значения ниже порога пробоя чистого воздуха на этих высотах. В модели распространения молний обычно предполагается, что в самом начале существует высоко проводящий тонкий канал довольно большой длины, находящийся в облаке. Возникает вопрос, как он образуется.

Известно, что капли, льдинки или другие инициаторы могут усиливать электрическое поле и создавать коронный разряд. Коронирование начинается в небольшом объеме около кончика инициатора, где электрическое поле достаточно велико для начала ионизации молекул газа электронным ударом.

Ионы, образовавшиеся в результате коронного разряда, обладают высокой проводимостью и распределяются вдоль канала. Поляризация ионного канала уменьшает скорость рекомбинации. Образовавшийся высоко проводящий канал увеличивается по длине за счет дрейфа ионов. Возникает волна коронирования. Электрическое поле на концах канала увеличивается и достигает величины порога пробоя.

Создана аналитическая модель квазистационарного распространения волны коронирования конечного радиуса. В нестационарной задаче формирования канала решаются уравнения Пуассона и кинетические уравнения ионов и заряженных мелких капель с учетом возникновения новых ионов на центрах коронирования.

Отклик аэроэлектрического поля приземного слоя на Форбуш - понижения интенсивности галактических космических лучей

С.В. Анисимов, *Н.М. Шихова*

Геофизическая Обсерватория «Борок» ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН, Борок

Исследовалось влияние Форбуш - понижений (ФП) интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) на аэроэлектрическое поле приземного слоя с использованием данных непрерывных измерений величины напряженности электрического поля (НЭП) среднеширотной обсерватории «Борок» [58,03N; 38,97E] за 2000–2004 гг. (<http://geodata.borok.ru>) и наблюдений интенсивности ГКЛ нейтронным монитором ИЗМИРАН (<http://helios.izmiran.rssi.ru>). Применение метода наложенных эпох к анализу 45 случаев ФП позволило установить, что на 1–2 сутки от начала события, величина НЭП приземного слоя возрастает на 10–12 % от среднего уровня анализируемого временного отрезка (Рис.1). Проведен отдельный анализ обнаруженного

эффекта ФП в зимний и летний периоды. Выявлено, что для летнего периода средняя величина напряженности аэроэлектрического поля в день ФП уменьшается на 20–30 %, а на 2 день после начала события возрастает на эту же величину. В случаях интенсивных изолированных во времени ФП отклик в увеличении НЭП на 1–2 день после начала события ФП может достигать 40–50 %.

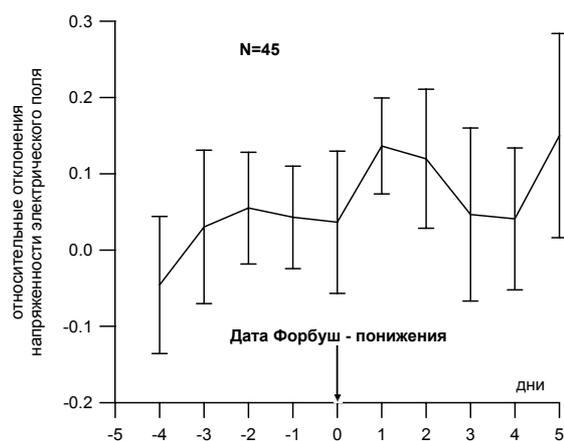


Рис.1. Среднесуточные отклонения аэроэлектрического поля в окрестности дат Форбуш – понижений в 2000–2002 годах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №03-05-64449), а также программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН «Физика атмосферы: электрические процессы, радиофизические методы исследований».

Метод оценки возмущения аэроэлектрического поля системой заземленных идеально проводящих стержней

Э.М. Дмитриев

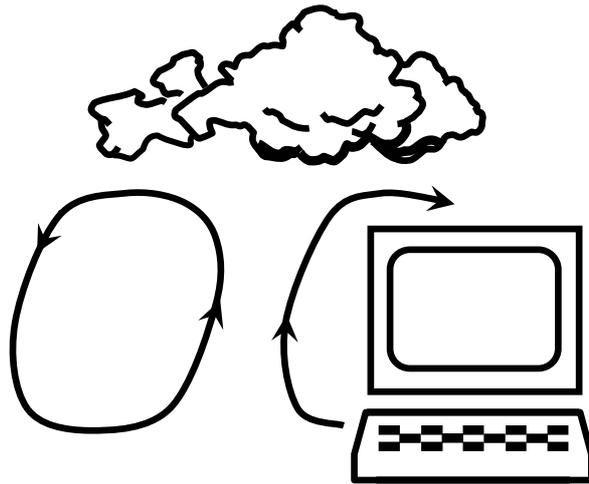
Геофизическая Обсерватория «Борок» ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН, Борок

При исследовании высотных профилей атмосферного электрического поля приземного слоя возникает необходимость учета возмущений, вносимых в аэроэлектрическое поле проводящими объектами, расположенными на земной поверхности. Численный расчет таких возмущений может быть произведен методами конечных или граничных элементов, однако при этом будут высоки затраты машинных ресурсов даже для объектов с простой геометрией. В данной работе предложен простой численный метод оценки возмущений аэроэлектрического поля, обусловленных заземленными проводящими объектами, представляющими собой систему стержней (мачты, антенны и т.п.).

Предложенный метод эффективно учитывает «квазиодномерность» стержней. Он основан на замене каждого стержня цепочкой, состоящей из точечных зарядов или диполей, ориентированных по направлению невозмущенного аэроэлектрического поля, и точек, в которых потенциал аэроэлектрического поля приравнивается нулю. После нахождения величин зарядов и дипольных моментов из полученной системы линейных уравнений, может быть рассчитано возмущение аэроэлектрического потенциала и поля для любой точки пространства. Сравнением с точным аналитическим решением показано, что возмущение аэроэлектрического поля проводящим стержнем, аппроксимируемым сильно вытянутым проводящим эллипсоидом, оказывается близким к его возмущению модельной цепочкой точечных зарядов или диполей. Приведены результаты оценок возмущения аэроэлектрического поля реальными объектами, на основе расчетов, выполненных по предложенному методу.

Работа проводится при финансовой поддержке РФФИ (грант №03-05-64449), а также программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН «Физика атмосферы: электрические процессы, радиофизические методы исследований».

Моделирование атмосферных динамических процессов



**Методы оценки статистической значимости
модельных откликов на внешние возмущения
в климатических исследованиях**

И.Л. Кароль, А.А. Киселев

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

Широкое развитие модельных исследований в науке и использование их результатов для важных практических выводов делает актуальными оценки степени неопределенности и достоверности получаемых модельных результатов. При этом необходимо учитывать как погрешность в исходных данных, так и неточности в параметрах модели и в приближенных методах решения модельных уравнений. Предлагается краткий обзор современных методов оценки статистической значимости модельных откликов на различные внешние возмущения и степени обоснования этих методов.

Перенос примесей в тропосфере и нижней стратосфере средних широт

Н.П. Шакина

Гидрометцентр России, Москва

Малые составляющие атмосферного воздуха в тропосфере и нижней стратосфере средних широт переносятся воздушными течениями в циркуляционных системах, по спектру размеров которых — от планетарных до микромасштабов — изменяется соотношение сил, действующих на воздушную частицу. Более крупномасштабные системы генерируют характерные структуры движений меньшего масштаба. Так, циклонические вихри (объекты β -макромасштаба) имеют мезомасштабную структуру, включающую воздушные потоки различного происхождения (теплую и холодную воздушные массы; теплую и холодную несущие полосы; сухой поток) и разделяющие их зоны атмосферных фронтов. Каждая из этих составляющих мезомасштабной структуры циклона имеет, в свою очередь, характерную мезо- или микромасштабную структуру (облачные полосы, гипербароклинные зоны, струйные течения нижних уровней, зоны осадков, конвективные образования). Характерные структуры циркуляционных систем описываются концептуальными моделями, удобными как для анализа реальных данных, так и для прогноза погоды (в особенности для прогноза «подсеточных» процессов). Объекты «сеточного» масштаба непосредственно описываются гидродинамическими моделями атмосферы. Для моделей атмосферы, используемых для прогноза, начальные данные получают на основе прямых измерений (у земли и в толще атмосферы) и разного рода дистанционных измерений (включая спутниковые) с помощью оперативно выполняемого объективного анализа. Данные объективного анализа и его неоперативного варианта — реанализа (использующего более полные наборы данных) используются и для исследования динамики реальных процессов (диагностические расчеты). Циркуляционные системы всех масштабов существенно трехмерны и имеют достаточно большой вертикальный масштаб, поэтому для описания переноса малых составляющих необходимо использовать модели не только с высоким пространственным разрешением, но и с достаточно высоко расположенной верхней границей.

Механизмы превращения энергии, импульса и малых газовых составляющих в моделях экваториальной атмосферы

С.П. Перов¹, Ю.А. Борисов¹, К.В. Показеев², И.Л. Галкина¹, А.А. Гальченко²

¹ Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный

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

Представлены и обсуждаются физико-химические механизмы взаимодействия радиационных, фотохимических и динамических (в первую очередь волновых) процессов в экваториальной озоносфере. Представленный здесь материал является в определенной степени дополнением и/или иллюстрацией к лекциям, прочитанным на конференции 2004 г. в Подлипках И.Л.Каролем, И.К.Лариным, М.А.Каллистратовой, А.М.Стариком и другими, особенно в части, касающейся тропической области атмосферы.

Важную роль в пространственно-временной структуре озонового слоя играют изменения в облачных полях и аэрозольных неоднородностях: во-первых, вследствие увеличения за счет альbedo уходящей фотохимически активной видимой (в основном) и УФ-радиации Солнца и, во-вторых, формирование и эволюция облаков связаны с выделением скрытой теплоты конденсации, воздействующей на формирование и распространение целого спектра внутренних гравитационных волн (ВГВ), воздействующих на озоносферу. Что касается первого фактора, то оценки показывают, что на высоте 35–40 км концентрация озона может уменьшиться на 10%, а температура — на 2–3 градуса. Таким образом, этот слой атмосферы является дополнительным к тропосферному источником возникновения внутренних волн, причем всех типов — экваториальных, приливных, гравитационных (если их период одного порядка с временем существования облачных масс). Формирование облаков и облачных масс (кластеров) во многом определяется процессами конвекции (особенно в тропиках), в т. ч. связанными с температурой поверхности океана, а также особенностями систем циркуляции в тропосфере (внутритропическая зона конвергенции, тропические циклоны, Эль-Ниньо и т. д.).

Рассмотрены некоторые микрофизические механизмы в ионно-аэрозольной атмосферной плазме, в т. ч. при образовании аэрозолей различной природы с необычными свойствами (серебристые, перламутровые, полярные стратосферные, высокие перистые и др. облака, сотни различных форм гало и т. д.). Эта проблема выходит на первый план в исследованиях климата (П.Крутцен), поскольку в моделях очень трудно учесть многочисленные обратные связи, в которых важным звеном выступает радиационно и химически активный аэрозоль в различных видах на различных высотах при различных термодинамических условиях и различных внешних воз-

действиях. Исключительную роль играет аэрозоль в работе глобальной электрической цепи. Гигантские электрические разряды в ионосфере от грозных облаков, т.н. красные спрайты, голубые джеты и стартеры, возможны только при максимальных электрических полях над грозными облаками, создающихся при максимальных эффективных стоках на поверхность аэрозольных частиц (их количество может достигать до 10^8 куб.см легких атмосферных ионов, тем самым уменьшая эффективную подвижность вновь образующихся ионов и электропроводность атмосферы. В литературе дискутируется вопрос о существовании в атмосфере особенно при низких температурах непрорекомбинировавших ионов, мультиионов, «замороженной неравновесной ионной плазмы» Такие метастабильные энергетически активные аэрозоли (название условно, их можно определить как «энергонасыщенные») были зарегистрированы в ракетных экспериментах. Их существование в холодной нижней стратосфере и верхней тропосфере следует из анализа экспериментальных данных полученных в пусках метеоракет М-100Б на Тумбе (Индия), с. Молодежная (Антарктида), с. Волгоград и с научно-исследовательских кораблей в Индийском океане с помощью специально разработанной высокочувствительной аппаратуры для измерения концентрации озона и атомарного кислорода в стратосфере и мезосфере Земли

В одном из самолетных экспериментов над Арктикой зарегистрирован (лидаром) феномен образования стратосферных аэрозольных слоев во время полярного сияния, что может свидетельствовать о влиянии электродинамических процессов во всей толще атмосферы на процесс формирования облаков.

С использованием ракетных данных из наблюдений на с. Тумба и НИС в Индийском океане в 1970–90 гг. получены основные характеристики коротко- и долгопериодной волновой активности в индийском регионе тропической атмосферы и оценен энергетический вклад различных типов волн. Анализ глобальных процессов в 1997 г. в средней атмосфере показал мощное воздействие Эль-Ниньо 1997 г. на озоновый слой начиная с начальной фазы (апрель) вплоть до окончания процесса. Впервые обнаружено (в августе 1998 г.) нарушение фотохимического равновесия в фотохимически активном и обычно равновесном слое тропической озоносферы (35–50 км), что свидетельствует о необычайно сильной волновой активности в тропической средней атмосфере в этот период.

Анализируются данные прибора CRISTA, работавшего на орбите с 7 по 17 августа 1997 г. в период развития самого мощного в XX веке Эль-Ниньо и в период индийского муссона. Сравнение с данными первого эксперимента CRISTA в начале ноября 1994 г. показало необычайно сильные возмущения динамического характера во всей толще озоносферы и позволило определить некоторые важные характеристики «быстрых» (с периодом ме-

нее 5 дней) экваториальных планетарных волн Кельвина, проникающих до 100 км. в термосферу и, возможно, выше. Эти характеристики хорошо согласуются с нашими данными ракетных экспериментов на с. Тумба (Индия, 8,6 N). Волны Кельвина, возбуждаемые при сильной конвекции (незональной) над экватором, являются одним из основных факторов, влияющих на амплитуды и фазы полугодовых, годовых и квазидвухлетних колебаний температуры, ветра и химического состава озоносферы и средней атмосферы.

Предложен и опробован новый метод определения и анализа среднезонального вертикального ветра в этих колебаниях при решении системы фотохимических уравнений в фотохимической области озоносферы (35–80 км) с целью вычисления высотного распределения долгоживущей примеси (например, водяного пара — H_2O) и ее временной изменчивости. Для этого были использованы среднезональная модель озоносферы, построенная по спутниковым наблюдениям США, и незональная модель температуры и плотности стратомезосферы, построенная по ракетным данным ЦАО. Полученные концентрации H_2O на высотах 50–80 км, их амплитуды и фазы хорошо согласуются с амплитудами и фазами зонального ветра в экваториальной области на этих же высотах. Аналогичная ситуация наблюдается и в нижних слоях экваториальной атмосферы (equatorial taperecorder).

Методика и результаты наблюдений мезосферного озона на миллиметровых волнах

А.Н. Игнатьев, Е.П. Кропоткина, С.Б. Розанов, С.В. Соломонов

Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН, Москва

Представлены результаты наблюдений мезосферного озона на миллиметровых волнах, выполненных с помощью размещенного в Москве высокочувствительного спектрорадиометра ФИАН в зимние периоды 1999–2005 гг. Зарегистрированы спектры собственного теплового излучения молекул озона на частотах вращательной линии с центром на 142,175 ГГц. Оптимизированные характеристики спектрорадиометра соответствуют мировому уровню. Изложена методика восстановления вертикального распределения озона (ВРО), основанная на методе регуляризации Тихонова с использованием априорной информации о форме ВРО выше 75 км. Эта методика позволяет восстанавливать ВРО в ночное время на высотах от 15 до 95 км [1,2], труднодоступных для других методов. Обнаружены значительные вариации содержания мезосферного озона. Получено, что величина колебаний озона в течение зимних периодов достигает 2–3 раз на высотах 60–70 км. Содержание ночного озона в максимуме на 90 км в течение тех же периодов изменяется от 2 до 10 ppт. Обнаружена связь этих изменений озона на 90 км с крупномасштабными процессами атмосферной динамики.

Работа поддержана грантами РФФИ №03-02-17436, НШ-1254.2003.2, Программой ОФН РАН «Проблемы радиофизики» и ФЦП «Интеграция» (проект № 316).

1. *Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Семенов А.И.* Наблюдение мезосферного озона на миллиметровых волнах // Краткие сообщ. по физ. 2001. № 10. С.30–38.
2. *Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Розанов С.Б.* Исследование вертикального распределения озона в стратосфере и мезосфере на миллиметровых волнах // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 46. № 8–9. С.764–770.

Анализ вариаций концентрации приземного озона в Звенигороде

М.Ю. Стницей, Г.И. Кузнецов, О.А. Тарасова

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

К настоящему моменту времени сформировался определенный состав атмосферного воздуха в результате исторических процессов формирования земной атмосферы. Фотохимическое состояние атмосферы определяется взаимными превращениями большого числа малых газов, особое место среди которых занимает приземный озон. Источниками озона в приземном слое служат приток из свободной тропосферы и химические превращения. Стоком является химическое разрушение в воздухе и на поверхностях.

В данной работе проводится анализ вариаций приземного озона различного временного масштаба путем построения функций распределения за различные промежутки времени и с различным временным разрешением. Для этой цели используются данные измерений концентрации озона, полученные на Звенигородской научной станции. Измерения проводились с октября 1998 г. по май 1999 г.

Для оценки вариаций концентрации озона использовалось разное временное разрешение исходных данных — среднeminутные, среднечасовые и среднесуточные значения. Анализ функции распределения за различные периоды времени показал, что одномодальная структура наблюдалась в основном в холодный период времени — в ноябре, январе и феврале, а бимодальная структура — в марте, апреле и мае. Эти структуры сохранялись независимо от временного разрешения исходных данных, что говорит о крупномасштабности процессов, определяющих среднемесячные концентрации приземного озона.

Исследование сезонных изменений функции распределения концентрации озона показало, что одномодальная структура наблюдается осенью, а бимодальная структура — зимой, весной и за весь период наблюдений. При анализе бимодальных структур было установлено, что зимой повторяемость низких значений ($O_3 = 17,5$ ppb) больше, чем повторяемость высоких ($O_3 = 22,5$ ppb). Весной и за весь период наблюдений видна обратная картина — повторяемость высоких значений ($\bar{O}_3(\text{весна}) = 31,5$ ppb, $\bar{O}_3(\text{за весь период}) = 22,5$ ppb), больше чем низких ($\bar{O}_3(\text{весна}) = 21,5$ ppb, $\bar{O}_3(\text{за весь период}) = 17,5$ ppb). Большая повторяемость высоких значений весной связана с формированием сезонного максимума в этот период. При анализе одномодальной структуры осенью был обнаружен дополнительный максимум в функции распределения озона связанный с разрушением озона под температурной инверсией в утренние часы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 03-05-64712.

Влияние макрометеорологических параметров на концентрацию озона в тропосфере

А.С. Евлампиев, О.А. Тарасова

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

Состояние атмосферы как термодинамической системы может быть полностью описано набором макрометеорологических параметров, изменчивость которых в большей или меньшей степени имеет отклик в изменениях газового состава атмосферы в целом и концентрации приземного озона (КПО) в частности.

В настоящей работе делается попытка оценить влияние макрометеорологических параметров на изменчивость КПО на Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС). Расположение КВНС выше пограничного слоя атмосферы в большую часть времени измерений делает ее репрезентативной для описания состава свободной тропосферы в отсутствии мощных региональных источников эмиссий.

По данным наблюдений с 1989 по 2000 год включительно была построена многопараметрическая регрессионная модель КПО по макрометеорологическим параметрам, которые рассматривались как независимые переменные. Всего в работе исследовалось 28 параметров, полученных из результатов объективного анализа, выполненного Гидрометеоцентром. Низкое горизонтальное разрешение данных не позволяет сделать выборку макропараметров непосредственно для точки наблюдений, но поскольку рассматриваемые величины описывают крупномасштабное состояние атмосферы, можно считать корректным выбранное приближение.

Построенная модель в определенной мере объясняет лишь часть сезонной изменчивости концентрации приземного озона. Построение модели по сезонам также не улучшает ее предиктивных свойств.

В качестве самого информативного параметра для описания всего ряда выступает температура на уровне 200 мб. Коэффициент корреляции между измерениями и моделью составляет 0,2, и модель объясняет 20 % наблюдаемой изменчивости КПО. Если рассматривать сезонные модели, то для зимы определяющую роль играет значение геопотенциала на уровне 200 мб, для весны, лета — скорость ветра на уровне 850 мб, осени — скорость ветра на уровне 300 мб. Соответствующие коэффициенты корреляции составляют 0,18, 0,19, 0,29 и 0,15 соответственно.

Планируется расширить и улучшить исследования путем привлечения данных реанализа Европейского центра краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды ERA40 и данных наблюдений за концентрацией приземного озона на сети станций EMEP.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 03-05-64712.

**Анализ межгодовых изменений общего содержания озона
над территорией России в 1973–2002 гг.
по измерениям станций сети Росгидромета**

О.А. Сыроваткина¹, И.Л. Кароль², А.М. Шаламянский²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

² Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург

Рассмотрены межгодовые изменения среднегодовых и средних за декабрь – март значений общего содержания озона (ОСО) по измерениям наземных станций в пяти регионах России в зависимости от температуры и параметров циркуляции суб- и арктической стратосферы в зимние месяцы. Учитываются квазидвухлетние колебания в экваториальной стратосфере, фазы Арктического и Северо-Атлантического колебаний, частота появления полярных стратосферных облаков. Установлена высокая статистическая значимость различия среднегодовых и средних за декабрь – март ОСО в годы с теплой (холодной) зимней арктической стратосферой со слабым (сильным) струйным течением границы полярной ночи.

Реакционно-диффузионные волны в атмосфере Земли

М.Ю. Куликов, А.М. Фейгин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Достаточно давно было показано, что в распределенных химических системах, обладающих нетривиальными нелинейно-динамическими свойствами, могут возникать реакционно-диффузионные волны в виде бегущих фронтов, импульсов, спиральных волн, периодических и непериодических последовательностей волн и др. Такие волны обнаружены в системах различной природы (химических, биологических, геологических и др.), однако до настоящего момента была известна всего лишь одна работа [1], в которой рассмотрена возможность возникновения реакционно-диффузионных волн в атмосфере Земли. Авторы [1] в качестве причины возникновения реакционно-диффузионных волн рассматривали классический для нелинейных химических систем (например, типа Белоусова-Жаботинского) механизм, обусловленный мультистабильностью. В данной работе предложен и исследован принципиально иной, специфичный для средней атмосферы механизм возбуждения реакционно-диффузионных волн. Проведен анализ замкнутой одномерной цепочки диффузионно-связанных химических осцилляторов, обладающих нелинейным (субгармоническим) откликом (с периодом 2, 3 или 4 суток) на внешнее периодическое волновое возмущение с периодом 1 сутки и волновым числом, равным единице. Эта задача моделирует фотохимические процессы, реально протекающие в области мезопаузы земной атмосферы (высоты 80–87 км над уровнем моря), в условиях суточных вариаций освещенности и действия горизонтальной (вдоль широтного круга) турбулентной диффузии. В результате численного моделирования обнаружено, что для всех перечисленных выше значений периода субгармонических осцилляций в системе возникают реакционно-диффузионные волны в виде бегущих фронтов и импульсов, которые представляют собой фазовые волны, распространяющиеся в зональном направлении. Кроме того, найдена реакционно-диффузионная волна в виде бегущего фронта, приводящего, по мере своего распространения, к изменению периода химических осцилляций. Определены аналитические зависимости скорости распространения обнаруженных реакционно-диффузионных волн от основных параметров системы (коэффициента турбулентной диффузии и широты), которые оказались принципиально различными для разных гармоник субгармонического отклика. Обсуждается вероятность возникновения обнаруженных эффектов в реальных условиях мезосферы и возможность их регистрации современными методами зондирования атмосферы.

1. Fox J.L., Wofsy S.C., McElroy M.B., Prather M.J. A stratospheric chemical instability // J. Geophys. Res. (C). 1982. V. 87, P.11126–11132.

Байесов подход к восстановлению вертикального профиля озона по данным радиометрических измерений

Я.И. Мольков, Д.Н. Мухин, Е.В. Суворов, А.М. Фейгин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Предложена методика восстановления вертикальных распределений (профилей) атмосферных газовых составляющих по данным пассивного радиометрического зондирования атмосферы. Целью данной методики, основанной на статистическом (Байесовом) подходе к решению обратных задач, является построение вероятностного распределения для искомой величины во всем интервале зондируемых высот. Для этого используются как предположения об измерительном шуме, входящем в исходные данные, так и априорная информация о свойствах самого профиля. Предложена аппроксимация искомого профиля функцией в виде искусственной нейронной сети. Показано, что такая аппроксимация позволяет оптимальным образом включать априорную информацию в процедуру восстановления, обеспечивая, тем самым, наиболее эффективную регуляризацию задачи. Эффективность предложенной методики продемонстрирована на примере восстановления вертикального профиля озона по данным наземного зондирования атмосферы в миллиметровом диапазоне длин волн. Представлены результаты восстановления профиля как по модельным данным, так и по спектрам радиационной температуры атмосферы, измеренным в Апатитах зимой 2002–2003 гг.

Статистический подход к реконструкции динамических систем по временным рядам

Е.М. Лоскутов, Я.И. Мольков, Д.Н. Мухин, А.М. Фейгин

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Предложен способ реконструкции динамических систем (ДС) по временным рядам, основанный на байесовом (статистическом) подходе к решению обратных задач. Существенным достоинством подхода является универсальность: он «по происхождению» пригоден для анализа временных рядов (ВР), зашумленных произвольным образом: как в процессе генерации, так и при измерениях. С другой стороны, корректный в смысле соблюдения условий лежащей в основе теоремы байесов подход к реконструкции ДС практически не реализуем в наиболее интересном случае хаотических ВР. Разработана модификация этого подхода, позволяющая применить его для реконструкции ДС по зашумленным хаотическим ВР, обобщенная также на случай стохастических ДС (систем, подверженных случайному внешнему воздействию). Обсуждаются условия применимости подхода.

Моделирование эмиссии метана из многолетнемерзлых болот криолитозоны России при изменении климата

С.А. Ренёва

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург

Арктические почвы содержат около 455 Гт С, что составляет порядка 14 % от общего почвенного углерода всей суши. Около 50 Гт содержится в многолетнемерзлых болотах, которые в северном полушарии занимают приблизительно 2 млн. км². В настоящее время в углеродном цикле участвует только малая часть торфов мерзлых болот, сосредоточенная в сезонно протаивающем слое. Изменение глубины сезонного протаивания и температуры торфяной залежи может существенно повлиять на баланс углерода в области криолитозоны.

Современные климатические изменения вызвали увеличение температуры воздуха в континентальных районах Аляски и Сибири более чем на 2 °С, при этом в последнее десятилетие, согласно немногочисленным данным, тундра из стока переходит в источник углерода. Дальнейший рост температуры воздуха приведет к более глубокому сезонному протаиванию многолетнемерзлых болот и увеличению притока углерода в атмосферу. В зависимости от условий аэрации почвенный углерод может образовывать как метан, так и углекислый газ, поступающий затем в атмосферу. Особый интерес представляет эмиссия углерода в форме CH₄, парниковый эффект которого более чем в 20 раз превышает воздействие равного количества CO₂. Образование метана происходит в анаэробных условиях ниже уровня болотных вод. Целью данной работы являлась оценка изменения притока метана из многолетнемерзлых болот криолитозоны России в условиях будущего климата.

С использованием ГИС-технологий нами были рассчитаны площади 59 846 болот криолитозоны России, определена доля площади, занимаемой болотами в каждой из ячеек пространственной сетки 0,5×0,5 градуса, и составлен электронный атлас. При помощи модели вечной мерзлоты были проведены расчеты изменения глубины сезонного протаивания и объема талого торфа для прогнозов климата на середину 21 века. Модель углеродного цикла была применена для оценки ожидаемого в будущем относительного изменения эмиссии метана, обусловленного увеличением сезонного протаивания болот криолитозоны. К середине 21 века оно составит порядка 80 % у арктического побережья, 30–50 % в центральной Сибири и 20 % и менее в восточной и юго-восточной областях криолитозоны.

**Применение SVD и EOF методов для анализа
пространственно-временных полей ОСО,
УФ эритемной облученности и атмосферного альbedo
по спутниковым данным TOMS 8**

Н.А. Крамарова, Г.И. Кузнецов

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

Для выделения особенностей изменчивости пространственно-временных полей УФ эритемной облученности, общего содержания озона (ОСО), аэрозольного индекса и атмосферного альbedo, а также для анализа взаимных связей между этими полями были использованы метод эмпирических ортогональных функций (EOF) и метод сингулярного разложения (SVD). В качестве исходных данных использовались спутниковые данные TOMS 8, представленные в виде соответствующих долготно-широтных ежедневных полей с пространственным разрешением 1,250 по долготе и 1,00 по широте.

Для выявления особенностей внутригодовой изменчивости исследуемых величин проводился анализ ежедневных пространственных полей для одного года (2000 г.). Предварительный анализ показал, что первая EOF мода для всех величин отражает годовой ход. Пространственные структуры первой EOF моды УФ эритемной облученности и первой EOF моды ОСО обладают четкой широтной структурой. SVD анализ, проведенный между полями УФ облученности и ОСО, и между полями УФ облученности и атмосферного альbedo, показал высокую ковариацию между полями. Так первая SVD мода между полями ОСО и УФ эритемной облученности выделяет более 94 % ковариации между полями, а первая SVD мода между полями атмосферного альbedo и УФ эритемной облученности выделяет почти 97 % ковариации между полями. Причем пространственная структура первых SVD векторов УФ облученности точно восстанавливает структуру первой EOF моды УФ облученности. Обнаружены интересные пространственные и временные квазипериодические структуры в EOF и SVD модах ОСО, которые могут обсуждаться в рамках уже известных особенностей распределения озона.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 03-05-64712.

Дистанционное определение характеристик турбулентности в АПС

Р.Д. Кузнецов

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

Измерения вариаций электрического поля в нижней атмосфере в сочетании с измерениями характеристик турбулентности в атмосферном пограничном слое могут помочь разграничить вариации, связанные с перемешиванием воздушных масс (которые содержат электрические заряды), и собственные вариации электрического поля, связанные с грозовой активностью, либо другими изменениями глобальной электрической цепи. В отсутствие синхронных измерений, полезно сравнить хотя бы статистические характеристики параметров турбулентности и электрического поля. При подобных сравнениях нельзя ограничиваться приземными данными о турбулентности, поскольку перемешивание охватывает всю толщу пограничного слоя.

Информация о характеристиках пограничного слоя может быть получена с помощью акустической локации. Доплеровские акустические локаторы (содары) измеряют лучевые компоненты скорости перемещения мелкомасштабных турбулентных неоднородностей, увлекаемых ветровым потоком. Основной областью применения содаров является определение вертикальных профилей средней скорости и направления ветра. Развитые в настоящей работе аппаратура и методы позволяют, кроме этого, получать профили таких параметров турбулентности как дисперсия вертикальной составляющей скорости ветра, потоковое число Ричардсона, скорость диссипации кинетической энергии, поток импульса и коэффициент турбулентной диффузии.

В докладе описана методика содарного определения дисперсионных параметров; приведены результаты сравнения дистанционных данных с локальными измерениями на метеорологических вышках; представлены суточные хода параметров турбулентности в диапазоне высот от 30 до 300–400 м и вертикальные профили этих параметров при устойчивой, нейтральной и неустойчивой стратификации.

Приведены примеры некоторых статистических характеристик низкочастотных временных и мезо-масштабных пространственных вариаций параметров турбулентности, а также оценки времени жизни мезо-масштабных квазирегулярных турбулентных образований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 04-05-64167.

Модель зонально-осредненной циркуляции средней атмосферы — численные эксперименты и верификация

К.Б. Моисеенко¹, А.Н. Беляев²

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

² Институт прикладной геофизики им. Е.К.Федорова, Москва

Разработана модель зонально-осредненной циркуляции средней атмосферы на высотах от 16 до 120 км. Модель основана на решении системы прогностических уравнений остаточной циркуляции с учетом переноса солнечной коротковолновой радиации и инфракрасной радиации с учетом суммарного альbedo системы нижняя атмосфера + земля (параметризации Лациса – Хансена и Фомичева – Шведа). Модель механистическая (химические процессы не рассматриваются); в то же время, она является самосогласованной, поскольку нижнее граничное условие для поля тока устанавливается непосредственно из расчетов, что позволяет в явной форме учитывать процессы обмена с ниже лежащими слоями атмосферы. В модели используется подробная нелинейная параметрическая схема для внутренних гравитационных волн (ВГВ) А.Н.Беляева, в которой в качестве внешнего параметра задается «тропосферный генератор ВГВ», характеристики которого считаются известными. Результаты модельных расчетов полей зонального ветра и температуры хорошо согласуются со спутниковыми данными (UARS). В частности, модель адекватно воспроизводит сезонный ход высоты мезопаузы и обращение зонального ветра в нижней термосфере. На основе численных экспериментов были также получены количественные оценки потока волновой энергии из нижней атмосферы в среднюю для разных широт и проведен качественный анализ влияния сезонного хода данной величины на интенсивность меридиональной циркуляции.

О линейном механизме диссипативно центробежной неустойчивости в реализации начальной стадии развития тропических циклонов (тайфунов)

В.Н. Блажко, С.Г. Чефранов

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

Фундаментальная, нерешенная до сих пор, проблема установления первичных механизмов формирования тропических циклонов (тайфунов) является актуальной в динамической метеорологии и геофизической гидродинамике [1–7]. При этом в [1, 4, 5] отмечается, что такой первичный механизм должен быть связан с реализацией какой-либо линейной неустойчивости. Известно также, что область локализации тропического циклона может быть ассоциирована с соседствующей антициклонической зоной вихревой активности, как по данным натурных наблюдений [2–5], так и согласно лабораторным экспериментам [6] по физическому моделированию возникновения тайфунов. Кроме того, еще в работе [1] отмечалась возможность важной роли придонного поверхностного (экмановского) трения, как энергетического первичного источника в механизме зарождения тропических циклонов.

Все отмеченные выше факторы (линейность механизма неустойчивости, наличие соответствующей генерации тайфунов антициклонической активности и придонного — линейного, по скорости, трения) естественно могут проявляться в рамках предлагаемого допустимого первичного линейного механизма тропического вихрегенеза, обусловленного, как показано, линейной диссипативно-центробежной неустойчивостью (ДЦН) [8].

В настоящей работе показано, что начальная стадия развития тайфуна может быть связана с предварительной генерацией крупномасштабного антициклонического вихря за счет линейного нетеплового механизма ДЦН. Установлены пороговые условия зарождения циклонической вихревой активности при вторичной реализации ДЦН на фоне твердотельного антициклонического вращения.

1. Charney J.G., Eliassen A. // J. Atmos. Sci. 1964. V. 21, № 68.
2. Эволюция тайфунов, ред. Федорей В.Г., Л. 1987
3. Zimin V.D., Levina G.V., Veselov V.M., Moiseev S.S., et al. Proc. of Int. Symp. on Generation of Large-Scale Structures in Continuous Media (Eds. R.Z. Sagdeev, U.Frisch, F. Hussain, S.S. Moiseev, N.S. Erokhin) World Scientific, Singapore. 1991. P.327–336
4. Rutkevich P.B., Physica. 2002. V. A 315, № 215.
5. Руткевич П.Б., Крупномасштабные неустойчивости в однофазных и двухфазных конвективных средах // Док. дисс., ИКИ РАН, М. 2004.
6. Богатырев Г.П., Смородин Б.Л. // Письма в ЖЭТФ. 1996. Т. 63. № 25.
7. Наумов А.Д., Николаева А.В. // Метеорология и гидрология. 2003. Т. 33. № 10.
8. Чефранов С.Г. // Письма в ЖЭТФ. 2001. Т. 73. № 312.

Влияние направления переноса на приземную концентрацию озона

Н.В. Панкратова, Н.Ф. Еланский

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

На основе данных по концентрации озона с Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС) и рассчитанных обратных 3D-траекторий было изучено влияние направления переноса воздушных масс на концентрацию озона на станции. Траектории были получены с помощью модели FLEXTRA за период с 1989 по 2001 гг. Для изучения дальнего переноса было использовано два подхода. Первый — когда территория делилась на 11 крупных квадратов и, по относительному времени нахождения воздуха в каждом регионе, велось изучение синоптических процессов, характерных для района станции, и преобладающих направлений переноса. Для первого подхода траектория не приписывалась определенному квадрату, а учитывалось только время нахождения траектории в определенном регионе. Вторым подходом состоял в выделении 8 секторов, были отобраны траектории, соответствующие определенному сектору.

Секторный анализ показал, что чем больше воздух находился в определенном секторе, тем ярче проявляется влияние направления выноса на концентрацию озона на КВНС. В теплый период пониженное содержание озона соответствует затакам воздуха из восточного северо-восточного и юго-юго-восточного секторов, повышенное — из юго-юго-западного и северо-северо-западного. В холодный период пониженная концентрация озона соответствуют затакам из восточного юго-восточного и северо-северо-западного секторов, повышенное содержание озона связано преимущественно с приходом воздуха из восточного северо-восточного и западного северо-западного секторов. Также было выявлено, что в холодный период при затаках воздуха из северной Африки и с Иранского нагорья концентрация озона на станции понижается, увеличение озона связано с приходом воздуха из Южной Европы. Как и для холодного периода, в теплое время года затаки из Африки соответствуют пониженному содержанию озона, вынос из Центральной и Южной Европы приводит в основном к незначительному повышению концентрации озона на КВНС.

авторы

Анисимов С.В.	56, 65	Карпов А.В.	28, 32, 43
Барковский Е.В.	60	Киселев А.А.	69
Белоножко Д.Ф.	47	Климов А.В.	46
Белоносова О.В.	60	Копейкин В.М.	43
Беляев А.Н.	84	Крамарова Н.А.	82
Бирюков А.В.	59	Кропоткина Е.П.	74
Блажко В.Н.	85	Крючков О.С.	44, 45
Борисов Ю.А.	71	Кудринская Т.В.	61
Борог В.В.	60	Кузнецов Г.И.	75, 82
Боярчук К.А.	63	Кузнецов Р.Д.	15, 83
Бубнова И.А.	22, 23	Кузнецова И.Н.	27
Варгин П.Н.	29	Куликов М.Ю.	78
Васильев Е.С.	18	Куличков С.Н.	15
Волкова М.В.	45	Курочкина С.А.	46
Волох А.А.	41	Ларин И.К.	14
Галкина И.Л.	71	Лезина Е.А.	27, 28, 32
Гальченко А.А.	71	Локощенко М.А.	15, 20, 24
Голованов А.С.	44, 47	Лосева Т.В.	64
Горчаков Г.И.	28, 31, 32, 42, 43	Лоскутов Е.М.	80
Григорьев А.И.	39	Мареев Е.А.	53, 57, 58, 59
Дмитриев Э.М.	66	Маслов И.А.	33
Евлампиев А.С.	76	Машковцева А.А.	41
Евтушенко А.А.	57	Мишин В.А.	62
Еланский Н.Ф.	86	Моисеенко К.Б.	84
Елисеева С.В.	62	Мольков Я.И.	79, 80
Ермаков А.Н.	17	Морозов В.Н.	61
Ермаков В.И.	54, 55	Морозов И.И.	18
Жаров А.Н.	45	Мухин Д.Н.	79, 80
Жарова И.Г.	44	Нахаев М.И.	27
Жерников К.В.	22, 23	Немчинов И.В.	64
Закиров А.А.	62	Нетреба С.Н.	60
Заплесвичко Д.С.	46	Озерецкий Р.С.	31
Зоткин Е.В.	28, 32	Панкратова Н.В.	86
Игнатъев А.Н.	74	Перепелкин В.Г.	15
Исаков А.А.	43	Перов С.П.	60, 71
Каллистратова М.А.	13	Петерс Д.	29
Карелин А.В.	63	Петрова Г.Г.	61
Кароль И.Л.	69, 77	Показеев К.В.	71

Ралько А.А.	26	Тимашев С.Ф.	60
Ренёва С.А.	81	Угольников О.С.	33
Розанов С.Б.	74	Ульяненко А.В.	32
Санасарян С.А.	47	Фейгин А.М.	78, 79, 80
Семутникова Е.Г.	27, 28, 31, 32	Фоменко А.С.	64
Сидорович И.Ю.	40	Хайкин С.М.	30
Скороход А.И.	41	Хапаев В.А.	24
Смирнов В.В.	37	Чефранов С.Г.	85
Соколов М.С.	62	Чубарова Н.Е.	38
Соломонов С.В.	74	Чунчузов И.П.	15
Сорокин А.Е.	48	Шакина Н.П.	70
Стицей М.Ю.	75	Шаламянский А.М.	77
Стожков Ю.И.	54, 55	Шаталина М.В.	58
Суворов Е.В.	79	Широков Р.В.	63
Сыроваткина О.А.	77	Шихова Н.М.	65
Тарасов А.В.	62	Шукуров К.А.	28, 32, 42, 43
Тарасова О.А.	19, 75, 76	Шумский Р.А.	20, 22, 23