

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

СОСТАВ АТМОСФЕРЫ. АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.

XV Всероссийская школа-конференция
молодых ученых

Тезисы докладов

Борок
2011

Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований,
Президиума РАН,
Отделения наук о Земле РАН

Борок, 30 мая – 4 июня 2011 г.

Организаторы:
Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН;
Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН;
Институт прикладной физики РАН



Программный комитет конференции

Анисимов С.В.	— д.ф.-м.н., Геофизическая Обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Борок (председатель)
Еланский Н.Ф.	— профессор, д.ф.-м.н., Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва (сопредседатель)
Фейгин А.М.	— д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород (сопредседатель)
Глико А.О.	— академик РАН, Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва
Катцов В.М.	— д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, С.-Петербург
Мохов И.И.	— член-корр. РАН, Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва
Мареев Е.А.	— член-корр. РАН, Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород
Володин Е.М.	— д.ф.-м.н., Институт вычислительной математики РАН, Москва
Кароль И.Л.	— профессор, д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, С.-Петербург
Кислов А.В.	— профессор, д.г.н., Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва
Куницын В.Е.	— профессор, д.ф.-м.н., Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва
Ларин И.К.	— профессор, д.ф.-м.н., Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва
Суворов Е.В.	— профессор, д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород
Тимофеев Ю.М.	— профессор, д.ф.-м.н., Физический факультет СПбГУ, С.-Петербург

Конференция организована при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, Президиума РАН,
Отделения наук о Земле РАН

Предисловие

Пятнадцатая Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы» (САтЭП-2011) организована совместно Геофизической обсерваторией «Борок» ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН, Институтом физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН и Институтом прикладной физики РАН. Школа-конференция проводится с 30 мая по 04 июня 2011 г. в поселке Борок Ярославской области. Наряду с обзором состояния исследований в динамично развивающихся областях современной физики атмосферы 15-ая школа-конференция имеет целью развитие творческих научных связей поколений российских ученых.

САтЭП-2011 является органическим продолжением Всероссийских конференций молодых ученых «Атмосферный озон» (1995–1997 гг.), «Малые примеси в атмосфере» (1998–1999 гг.), «Малые примеси атмосферы и атмосферное электричество» (2000–2003 гг.), «Состав атмосферы и электрические процессы» (2004–2005 гг.), «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы» (2006–2010 гг.). Последовательное расширение тематики конференций обусловлено, прежде всего, сложным характером атмосферных процессов, их взаимосвязью и взаимодействием. Объединение, в рамках рабочих программ проведенных конференций, направлений изучения газовых составляющих атмосферы, атмосферного аэрозоля и электричества атмосферы, моделирования климата и формирования глобальной электрической цепи стало стимулом дальнейшей координации научных исследований и способствовало получению новых научных результатов в физике атмосферы.

Программа САтЭП-2011 включает четыре секции:

1. Наблюдения малых газовых примесей и электрических полей в атмосфере. Анализ и интерпретация данных. Развитие инструментальной базы.
2. Исследование динамики фотохимических и радиационных атмосферных процессов.
3. Генерация электрических полей в атмосфере и формирование глобальной электрической цепи.
4. Моделирование физико-химических механизмов и обратных связей в климатических системах.

В рамках каждой из секций наряду с докладами молодых (до 35 лет) исследователей представлены лекции ведущих российских ученых о последних достижениях в различных областях физики атмосферы. В программу конференции САтЭП-2011 включены следующие обзорные лекции:

1. *А.Е.Алоян* Формирование сульфатных аэрозолей в тропосфере и стратосфере Земной атмосферы.

2. *Е.М.Володин* Механизмы формирования экстремальной жары на примере лета 2010 года.
3. *М.Е.Горбунов* Принципы обработки данных радиозатменного зондирования атмосферы Земли и их усвоения в модели глобальной циркуляции атмосферы.
4. *Э.М.Дмитриев* Математическое моделирование электричества приземной атмосферы.
5. *Н.Ф.Еланский* Исследование атмосферного озона в России.
6. *А.Н.Ермаков* Органический аэрозоль в атмосфере. Фотохимия и термодинамика образования.
7. *А.В.Карелин* Триггерный механизм глобальных изменений климата.
8. *М.Ю.Куликов* Методы анализа нелинейных химических процессов в атмосфере.
9. *И.К.Ларин* Химия ночной тропосферы.
10. *М.А.Локощенко* Особенности городского «острова тепла» в Москве.
11. *Е.А.Мареев* Параметризации конвективных и электрических процессов в климатических моделях.
12. *К.Б.Моисеенко, Н.А.Малик* Гравитационные течения в стратосфере, вызванные эксплозивными вулканическими извержениями.
13. *И.И.Морозов, Е.С.Васильев* Роль реакций галогенсодержащих органических соединений в загрязнении окружающей среды.
14. *И.И.Мохов* Анализ климатических изменений с оценкой роли естественных и антропогенных факторов и причинно-следственных связей.
15. *Д.Н.Мухин* Оптимальное моделирование сложных систем: стохастический подход к анализу данных.
16. *О.С.Угольников, И.А.Маслов* Поляризационные измерения фона ночного неба: Исследования зодиакального света, собственного атмосферного свечения и фона рассеяния в тропосфере.
17. *А.М.Фейгин* Нелинейные химические эффекты в мезосфере.
18. *Н.М.Шихова* Анализ свойств самоподобия электрического поля приземной атмосферы.

Школа-конференция организована при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН.

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

Содержание

Наблюдения малых газовых примесей и электрических полей
в атмосфере. Анализ и интерпретация данных.

Развитие инструментальной базы.

<i>Н.Ф.Еланский</i> Исследование атмосферного озона в России	12
<i>И.И.Морозов, Е.С.Васильев</i> Роль реакций галогенсодержащих органических соединений в загрязнении окружающей среды	13
<i>А.Е.Алоян</i> Формирование сульфатных аэрозолей в тропосфере и стратосфере Земной атмосферы	15
<i>А.Н.Ермаков</i> Органический аэрозоль в атмосфере. Фотохимия и термодинамика образования	17
<i>И.К.Ларин</i> Химия ночной тропосферы	18
<i>М.А.Локощенко</i> Особенности городского «острова тепла» в Москве	19
<i>К.Б.Моисеенко, Н.А.Малик</i> Гравитационные течения в стратосфере, вызванные эксплозивными вулканическими извержениями	21
<i>О.С.Угольников, И.А.Маслов</i> Поляризационные измерения фона ночного неба: Исследования зодиакального света, собственного атмосферного свечения и фона рассеяния в тропосфере	23
<i>В.Ю.Агеева</i> Разработка методических средств мониторинга УФ составляющей приземного солнечного излучения	24
<i>А.А.Аниферов, И.А.Репина</i> Оценка мощности подводного источника метана по измерениям атмосферных концентраций с помощью гауссовой модели распространения примеси, двумерной численной модели атмосферной диффузии и модели HYSPLIT	25
<i>П.Н.Антохин, М.Ю.Аришинов, Б.Д.Белан, С.Б.Белан, Д.К.Давыдов, Г.А.Ивлев, А.В.Козлов, Д.А.Пестунов, А.В.Фофонов, G.Inoue, H.Sutoh, T.Machida, K.Shimoyama, Ш.Максютов</i> Модернизация самолета-лаборатории на базе Ан-2	26
<i>П.Н.Антохин, М.Ю.Аришинов, В.Г.Аришинова, Б.Д.Белан, С.Б.Белан, Д.К.Давыдов, Т.М.Рассказчикова, Г.А.Ивлев, А.В.Фофонов, G.Inoue, H.Sutoh, T.Machida, K.Shimoyama, Ш.Максютов</i> Вертикальное распределение озона в нижней тропосфере в фоновом районе Томской области	27
<i>А.Н.Боровский, А.А.Арабов, Н.Ф.Еланский, А.С.Елохов</i> Долговременный ряд содержания NO ₂ по прямому солнечному излучению на Кисловодской научной станции с 1981 по 2008 гг.	28
<i>И.И.Бручковский, В.С.Демин</i> Автоматизированная установка для измерения малых составляющих атмосферы	29
<i>Е.Л.Василенко, М.А.Локощенко</i> Вековые изменения атмосферного давления в Москве	30
<i>А.А.Глазкова</i> Верификация метеорологического параметра загрязнения атмосферы с использованием в качестве маркера загрязнения монооксида углерода	32

<i>П.С.Глядкин</i> Статистические характеристики вариаций концентрации CO ₂ в пограничном слое г. Москвы	33
<i>Г.И.Еськин, М.Е.Горбунов</i> Ионосферные флуктуации в данных радиозатменного зондирования атмосферы Земли: статистические свойства и алгоритм оптимальной фильтрации	34
<i>В.А.Иванов, А.С.Елохов, О.В.Постыляков</i> Метод восстановления профиля двуокиси азота в атмосфере по измерению рассеянного в зените солнечного излучения в сумерки	36
<i>Г.А.Ивлев, П.Н.Антохин, С.Б.Белан, А.В.Козлов</i> Модернизированная мобильная станция «АКВ-2» для мониторинга параметров атмосферы в городских условиях	37
<i>И.А.Корнева, М.А.Локощенко, Н.Ф.Еланский, В.Г.Перепёлкин</i> Влияние стандартного отклонения вертикальной составляющей скорости ветра на приземное содержание малых газов	39
<i>И.С.Мельникова, В.М.Копейкин</i> Содержание сажевого аэрозоля в атмосфере г. Москвы во время пожаров в сентябре 2002 г. и в августе 2010 г.	41
<i>К.А.Боярчук, А.В.Карелин, А.В.Надольский</i> Детектирование предвестников землетрясений на основе метода «химического потенциала»	43
<i>Н.Г.Никитина, М.А.Локощенко</i> Высота приземного слоя воздуха в Москве по данным акустического зондирования атмосферы	45
<i>И.Д.Полежаева, М.А.Локощенко, Н.Ф.Еланский</i> Влияние атмосферных осадков на состав приземного воздуха	47
<i>О.В.Посудников, Д.Ф.Белоножко</i> О влиянии ветра на состояние горизонтальной свободной поверхности жидкости	49
<i>Е.С.Савельева, Е.С.Васильев, И.И.Морозов</i> Трансформации галогенсодержащих уксусных кислот в окружающей среде	50
<i>Е.А.Серов, М.А.Кошелев, В.В.Паршин, М.Ю.Третьяков</i> Экспериментальное исследование континуального поглощения в смеси водяного пара с азотом в миллиметровом диапазоне длин волн	52
<i>В.Ю.Станкевич</i> Оптимизационный метод восстановления значений общего содержания озона по спектральной плотности энергетической освещенности поверхности Земли солнечным ультрафиолетовым излучением	53
<i>Е.Н.Старикова, В.С.Ракин, Е.В.Фокеева</i> Определение содержания оксида углерода спектроскопическим методом в воздушном бассейне г. Москвы	55
<i>А.В.Трифанова, М.А.Локощенко, Н.Ф.Еланский</i> Предельные значения приземного содержания малых атмосферных газов в Москве и условия их наблюдений	56
<i>Н.В.Ужегова, Б.Д.Белан, П.Н.Антохин, Е.В.Жидовкин, Г.А.Ивлев, А.В.Козлов, А.В.Фофонов</i> Исследование сезонных различий качества городского воздуха в условиях антициклона с помощью мобильной станции в г. Томске	58
<i>Т.Б.Цыркина, К.В.Жерников, И.П.Сухарева, Л.А.Обвинцева, А.К.Аветисов</i> Исследование гетерогенной гибели озона на материалах твердого атмосферного аэрозоля и элементах подстилающей поверхности методом полупроводниковых сенсоров	59

Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы.

<i>И.Б.Беликов, Н.Ф.Еланский, Р.А.Шумский</i> Вариации газовых примесей атмосферы по данным автоматизированной информационно-измерительной системы _____	60
--	----

Исследование динамики фотохимических и радиационных атмосферных процессов.

<i>Д.Н.Мухин</i> Оптимальное моделирование сложных систем: стохастический подход к анализу данных _____	62
<i>М.В.Беликович, Д.Н.Мухин, А.М.Фейгин</i> О применение байесова подхода для восстановления высотного профиля концентрации водяного пара по данным радиометрических измерений в микроволновом диапазоне с борта самолета _____	63
<i>Д.А.Караштин, А.А.Швецов, Л.И.Федосеев, О.С.Большаков, А.А.Красильников, Д.Н.Мухин, Н.К.Скалыга, А.М.Фейгин</i> Совместные измерения профилей температуры и концентрации озона в атмосфере методом пассивного радиометрического зондирования с поверхности Земли _____	65
<i>А.А.Кузнецов, Ю.Ю.Куликов</i> Микроволновые измерения изменчивости озона во время частного солнечного затмения _____	66
<i>Е.М.Лоскутов, М.Ю.Куликов, Д.Н.Мухин, А.М.Фейгин</i> Динамическая модель межгодовой изменчивости концентрации озона полярной нижнестратосферной фотохимической системы _____	67
<i>А.Л.Маулини</i> Эффекты в магнитосфере вызванные экспериментами по возбуждению ионосферы высокочастотным излучением в высокоширотной ионосфере проведенному в г. Тромсе 16.02.2003. Спутниковые наблюдения _____	68

Генерация электрических полей в атмосфере и формирование глобальной электрической цепи.

<i>Е.А.Мареев</i> Параметризации конвективных и электрических процессов в климатических моделях _____	70
<i>Н.М.Шихова</i> Анализ свойств самоподобия электрического поля приземной атмосферы _____	73
<i>Э.М.Дмитриев</i> Математическое моделирование электричества приземной атмосферы _____	74
<i>А.В.Карелин</i> Триггерный механизм глобальных изменений климата _____	75
<i>К.В.Афиногенов, С.В.Анисимов</i> Вариации полярных проводимостей среднеширотной приземной атмосферы по результатам сезонных полевых наблюдений 2010 года _____	76
<i>С.В.Галиченко, С.В.Анисимов, Н.М.Шихова</i> Численное моделирование переноса объемного заряда и электрического поля приземной атмосферы _____	77
<i>А.А.Евтушенко, Ф.А.Кутерин</i> Трехмерная модель влияния спрайта на химический состав мезосферы _____	78
<i>А.А.Закиров</i> Солнечные и лунные приливы в электрическом поле пограничного слоя атмосферы _____	79

<u>Д.И.Коломеев, В.В.Черевань, А.К.Монзикова, Л.В.Кашлева</u> Суточное и годовое изменение электрических параметров атмосферы в зависимости от широты и долготы _____	80
<u>Т.В.Кудринская</u> Атмосферно-электрические измерения в степной и высокогорной зонах Северного Кавказа _____	81
<u>Ф.А.Кутерин, А.А.Евтушенко</u> О решении плазмодинамических задач с диффузией применительно к исследованию возмущений состава атмосферы _____	83
<u>А.А.Очиров, Д.Ф.Белоножко</u> О критических условиях зажигания огней Св. Эльма над заряженной жидкой пленкой, подогреваемой снизу _____	84
<u>М.В.Шаталина, В.В.Клименко, Ю.В.Шлюгаев, Е.А.Мареев</u> Статистика грозových событий и особенности конвективного сезона 2010 года в Верхне-Волжском регионе _____	85
<u>Д.В.Янин, А.В.Костров</u> Резонансная ближнепольная СВЧ-диагностика водности тумана _____	86

Моделирование физико-химических механизмов и обратных связей в климатических системах.

<u>И.И.Мохов</u> Анализ климатических изменений с оценкой роли естественных и антропогенных факторов и причинно-следственных связей _____	88
<u>Е.М.Володин</u> Механизмы формирования экстремальной жары на примере лета 2010 года _____	89
<u>М.Е.Горбунов</u> Принципы обработки данных радиозатменного зондирования атмосферы Земли и их усвоения в модели глобальной циркуляции атмосферы _____	90
<u>И.В.Артамонова</u> Вариации длительности макросиноптических процессов в связи с изменениями потоков космических лучей _____	92
<u>С.К.Бородко, В.В.Жучевич</u> Взаимодействие озоновых аномалий и барических образований в мезомасштабном моделировании _____	93
<u>С.А.Ренёва, О.А.Анисимов, Е.Л.Жильцова, Ю.Г.Стрельченко</u> Оценки воздействия климатических изменений на природные системы криолитозоны России _____	95
<u>Т.П.Сафрыгина, А.С.Емиленко</u> Сопоставление задымленности Московского региона в августе 2010 года с особо загрязненными состояниями атмосферы в г. Пекине _____	97
<u>О.В.Шагалов, В.П.Будак</u> Решение уравнения переноса излучения в условиях разорванной облачности _____	99
<u>А.С.Гаврилов, Д. Н. Мухин, А. М. Фейгин</u> Стохастический подход к прогнозу эволюции климатических систем по временным рядам: приложение к динамике явления Эль-Ниньо _____	101

**Наблюдения малых газовых примесей
и электрических полей в атмосфере.
Анализ и интерпретация данных.
Развитие инструментальной базы.**

Исследование атмосферного озона в России

Н.Ф.Еланский

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН

Последние события — «озоновая дыра» в Арктике, экстремальная ситуация лета 2010 г. в Москве — вновь обостряют интерес к атмосферному озону. Особо востребованными становятся данные наблюдений и численные модели, позволяющие анализировать влияние различных факторов на содержание озона в приземном воздухе и в свободной атмосфере, а также прогнозировать его изменения и возможные последствия. В докладе приводятся наиболее интересные и важные результаты отечественных исследований озона и процессов, определяющих его пространственную и временную изменчивость, оценивается вклад российских ученых в международное сотрудничество в этой области, и определяются наиболее актуальные направления развития исследований озона в нашей стране.

Роль реакций галогенсодержащих органических соединений в загрязнении окружающей среды

И.И.Морозов, Е.С.Васильев

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

В настоящей лекции будет уделено внимание гомогенным и гетерогенным процессам химии атмосферы.

Уменьшение количества стратосферного озона приводит к увеличению УФ облучения Земли и химической активности в тропосфере. Эффект влияния стратосферного озона на тропосферный озон мал, однако, моделирование и экспериментальные исследования показывают, что последствия разрушения озона в стратосфере на тропосферный озон разные на разных высотах и зависят от природы и состава химических веществ. В результате увеличение содержания в воздухе озона из-за истощения стратосферного озонового слоя может быть больше в загрязнённых регионах.

Продуктами деградации хлорфторуглеводородов (ХФУ) и фторуглеводородов (ФУ) являются чрезвычайно токсичные вещества: трифтор-, дифтор-, монофтор-, трихлор-, дихлор-, монохлоруксусная кислоты (ТФК,ДФК, МФК, ТХК, ДХК, МХК). Образование этих кислот — одна из важнейших угроз окружающей среде. Оказалось, что эта проблема сохранилась и при выводе из оборота и замене хлорфторуглеводородов на фторуглеводороды (ФУ).

Механизм этих процессов включает в себя как чисто газофазные процессы, так и процессы с участием аэрозолей. Полевые измерения концентрации трихлоруксусной кислоты ТХК и других галогенсодержащих кислот, проведенные с помощью передвижной обсерватории «ТРОЙКА-6» (Weissflog, 2003–2005) на территории Калмыкии и Северо-западных районов России, показали, что концентрация ТХК в растительности и на почве Калмыкии существенно превышает концентрацию в других местах. Монохлоруксусная (МХК) и дихлоруксусная (ДХК) кислоты, которые могли бы образовываться в этих условиях, не были обнаружены.

Сведения о реакционной способности продуктов атмосферной деградации этих кислот крайне ограничены.

Химические реакции, протекающие в атмосфере в основном бимолекулярные и тримолекулярные и только несколько реакций относится к классу мономолекулярных.

При их исследовании накладываются весьма жесткие условия проведения эксперимента: низкая температура и низкое давление, характерные для верхней атмосферы.

При этом в основном применяются проточные реакторы и импульсные фото реакторы.

Проточный реактор позволяет производить измерения в диапазоне давлений в несколько Торр и температур 230–380 К. Напуск реагирующей смеси производится в виде молекулярного пучка, причем для масс-спектрального анализа применяют различные методы ионизации: электронный удар, химическую ионизацию, лазерный фотолиз, включая и многофотонную ионизацию. В докладе будут приведены новые данные по определению коэффициентов захвата радикалов ClO поверхностями имитирующими морские аэрозоли.

Кинетика и механизмы реакций галогенсодержащих органических соединений и их роль в загрязнении окружающей среды будет освещена. Особое место в лекции будет уделено реакциям в газовой среде и в аэрозолях. Будет рассказано об основных экспериментальных методах исследования реакций в лабораторных условиях.

Поддержка грантами: Миннауки № 02.740.11.5176 и ОХНМ РАН (Программа № 1)

Формирование сульфатных аэрозолей в тропосфере и стратосфере Земной атмосферы

А.Е.Алоян, В.О.Арутюнян

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

Разработана новая, усовершенствованная трехмерная математическая модель глобального переноса газовых примесей и аэрозолей в атмосфере и формирования сульфатных аэрозолей в тропосфере и нижней стратосфере (слой Юнге). В модели учитываются основные химические и физические механизмы ответственные за образование сульфатных аэрозолей в атмосфере. По разработанной модели проводились численные эксперименты по заданным значениям антропогенных (SO_2 , NO_x , CH_4) и биогенных (H_2S , CS_2 , COS , CH_3SCH_3 , CH_4) эмиссий на поверхности Земного шара. Эмиссии диметилсульфида (CH_3SCH_3) для Тихого, Атлантического и Индийского океанов задавались раздельно для зимнего и летнего периодов. Построена новая усовершенствованная модель фотохимической трансформации газовых компонентов биогенного происхождения и связанных с ними превращений других химических веществ. Следует отметить, что основным источником SO_2 для морской атмосферы, является эмиссия диметилсульфида. Последующее фотохимическое окисление SO_2 приводит к формированию H_2SO_4 (газ), что способствует формированию мельчайших кластеров по механизму гомогенной бинарной нуклеации ($\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{SO}_4$).

По разработанной модели проводились численные эксперименты для исследования пространственно-временной изменчивости концентрации газовых составляющих и сульфатных аэрозольных частиц с учетом их размеров в Южном и Северном полушариях. В цепочках химических реакций участвуют 52 газовых вещества, включающие азотно-сернистый и углеродный циклы, а также вещества биогенного происхождения. Общее количество химических реакций — 146, реакций фотодиссоциации — 16. Численные расчеты по разработанной модели проводились на сетке ($144 \times 73 \times 20$): 144 узлов по долготе, 73 — по широте и 20 вертикальных уровней. Область достигает до высоты 45 км от поверхности земли. Используется 25 дискретных интервалов для распределения размеров аэрозольных частиц в диапазоне радиусов от 0,003 до 1,5 микрон. Поля скорости, температуры и удельной влажности взяты из Европейского центра среднесрочных прогнозов за 2000 г.

Выявлены основные физические и химические механизмы, ответственные за формирование аэрозольного слоя Юнге в нижней стратосфере. В частности показано, что сульфатные частицы могут формироваться в атмосфере Южного полушария охватывающий и регион Антарктики. При этом, основным источником для образования аэрозоля служит эмиссия диметил-

сульфида от океанов. Для летнего и зимнего периодов была исследована пространственно-временная изменчивость концентраций газовых веществ, а также функция распределения частиц по размерам, скорость нуклеации, пороговой концентрации H_2SO_4 и критического размера кластера.

Результаты расчетов показали, что через 10 дней происходит интенсивное образование сульфатных аэрозолей на высотах 20–25 км. При этом счетная концентрация частиц нуклеационной моды оказывается преобладающей. Вновь образовавшиеся капли растут за счет гетерогенной конденсации. Далее, из-за межмодовой коагуляции частицы сливаются и переходят в область больших размеров. Следует отметить, чтобы получить реальную картину образования слоя Юнге численные эксперименты необходимо проводить на более длительные интервалы времени. В обобщенном виде основные численные алгоритмы для решения рассматриваемых задач изложены в [1].

Литература

1. *Алоян А.Е.* Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: Наука, 2008. 415 с.

Органический аэрозоль в атмосфере. Фотохимия и термодинамика образования

А.Н.Ермаков

Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва

В связи с усилившимся распространением торфяных и лесных пожаров возрос интерес к изучению их последствий и, в частности, природы эмитируемых ими частиц аэрозоля. Такие пожары служат мощным источником поступления в атмосферу органических аэрозольных частиц [1–3], оказывающих влияние, как на климат, так и здоровье человека. В лекции рассматриваются фотохимия и термодинамика образования частиц органического аэрозоля в атмосфере. Помимо выбрасываемых в атмосферу т.н. первичных частиц, значительная часть органического аэрозоля формируется в результате химических и фотохимических реакций, см., например, [4]. При этом в газовой фазе возникают как гидрофобные, так и гидрофильные органические соединения. Их скорость образования, зависит от окислительных свойств атмосферного воздуха, которые определяются кинетикой химических и фотохимических реакций. Распределение окисленных форм органических микрокомпонентов между газовой и конденсированной фазой описывается законами термодинамики. В этих рамках удастся судить не только о химическом и фазовом состоянии частиц органического аэрозоля, но и его массовой концентрации в воздухе.

Литература

1. *Page S. E.* The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997/ *S. E. Page, F.Siegert, J.O. Rieley, H. D. V Boehm, A. Jaya, and S. Limin* // *Nature*. 2002. № 420, P. 61–63.
2. *Bertschi R.* Trace gas and particle emissions from fires in large diameter and below-ground biomass fuels / *R.Bertschi, J. Yokelson, D. E. Ward, R. E. Babbitt, R. A. Sussott, J. G. Goode, and W. M. Hao* // *JGR*. 2003. № 108, P.8.1–8.12.
3. *Gouw J.* Organic Aerosols in the Earth's Atmosphere / *J.Gouw, J. Jimenez* // *Environ. Sci. Technol.* 2009. V. 43, P.7614–7618.
4. *Ravi P.* Ozonolysis of α -pinene at atmospherically relevant concentrations: Temperature dependence of aerosol mass fractions (yields) / *P.Ravi, O.C.Stanier N. M. Donahue, and S N. Pandis.* // *JGR*. 2007. V. 112, D03201, doi:10.1029/2006JD007436.

Химия ночной тропосферы

И.К.Ларин

Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва

В последние годы физико-химические процессы, протекающие в условиях ночной тропосферы, стали предметом повышенного внимания. Это объясняется все большим осознанием важной роли ночной химии тропосферы в процессах химической трансформации антропогенных и естественных веществ, поступающих с поверхности Земли, а также роли этих процессов в формировании свойств тропосферы, важных с точки зрения экологии и здоровья людей.

В сообщении анализируются основные механизмы ночной химии тропосферы, включая реакции озона и радикала NO_3 с алкенами, роль галактических космических лучей и других источников ионизации (радон, излучение земной коры, молнии, ЛЭП) в образовании активных компонент тропосферы. Рассматривается вопрос о взаимном влиянии химии ночной тропосферы на процессы, протекающие днем. Приводятся данные о содержании O_3 и NO_3 в ночной тропосфере и возможных реальных скоростях химических процессов ночью в сравнении со скоростями дневных процессов. Делаются оценки влияния ночной химии на озоновый слой и климат Земли.

Литература

1. *J. L. Ambrose, H. Mao, H. R. Mayne, J. Stutz, R. Talbot, and B. C. Sive*, Nighttime nitrate radical chemistry at Appledore Island, Maine during the 2004 International Consortium for Atmospheric Research on Transport and Transformation // JGR, 2007 V. 112, D21302, doi:10.1029/2007JD008756.
2. *Isabelle Bey*, The nighttime production of OH radicals in the continental troposphere // Geophys. Res. Lett. 1997. V. 24, № 9. P. 1067–1070.
3. *Paul S. Monks*, Gas-phase radical chemistry in the troposphere // Chemical Society Reviews, 2005, DOI: 10.1039/b307982c.
4. *R. Sommariva, M. J. Pilling, W. J. Bloss*, Night-time radical chemistry during the NAMBLEX campaign // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7. P. 587–598.
5. *Ларин И.К.* О влиянии галактических космических лучей на состав атмосферы, парниковый эффект и озоновый слой Земли.// Экологическая химия, 2010, Т.19, № 3. С. 133–140.

Особенности городского «острова тепла» в Москве

М.А.Локощенко

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

Явление «острова тепла» в поле приземной температуры воздуха T присуще любым городам и даже любым населенным пунктам; чем больше поселок или город, тем больше, как правило, разность ΔT внутри него и в условиях фоновой местности за его пределами. Это явление впервые открыто выдающимся английским метеорологом-любителем Л.Говардом в 1820 году на примере сравнения T в Лондоне и в его окрестностях. Превышение температуры в городе создается целым рядом факторов: большой теплоемкостью асфальтовых покрытий и стен каменных зданий; существенно меньшими затратами тепла на испарение осадков вследствие их искусственного стока и на транспирацию растений из-за ограниченных зеленых насаждений; прямым действием источников тепла вследствие человеческой деятельности (отопления зданий) и др. Обычно наибольшая интенсивность «острова тепла» ΔT в суточном ходе наблюдается в первой половине ночи, наименьшая — в середине дня [2 и др.].

Конфигурация городского «острова тепла» может быть сложной в зависимости от рельефа, речной сети и пр. Особенностью Москвы в этом отношении служит крайне простая форма города в виде почти геометрически правильного эллипса и симметричный характер городской застройки, наиболее плотной в центре города, что существенно облегчает изучение здесь закономерностей столичного «острова тепла». Следует заметить, что компактные зоны зеленых насаждений (сады, парки и пр.) образуют своеобразные «острова холода», то есть отдельные анклавные области локальных понижений T внутри городского «острова тепла». Интенсивность «островов тепла» в зависимости от географических условий меняется в широких пределах, даже вплоть до смены знака ΔT . Так, в тропических пустынях уже не отдельные парки, как в средних широтах, но и целые города в орошаемых оазисах иногда создают «острова холода» по сравнению с окружающей местностью. Это — следствие значительных затрат тепла на транспирацию; один из примеров — г. Беэр-Шева в пустыне Негев (Израиль).

Заметим также, что рост площади города и уплотнение городской застройки ведут к усилению эффекта городского «острова тепла» со временем. Это создает определенные сложности при интерпретации текущих изменений климата по данным городских станций. Так, если в целом для Земли оценка температурных изменений в XX столетии составляет $+0,6 - +0,7^{\circ}\text{C}$, то в городах потепление происходило существенно быстрее: от $+1$ до $+3^{\circ}\text{C}$ в самых крупных и быстрорастущих городах (напр., в Токио); в Москве $+2,3^{\circ}\text{C}$ по данным [5]. Статистически надежные многолетние данные о закономерностях «островов тепла» дает сеть наземных метеостанций — однако, обычно она

сравнительно редка. Более подробное изучение пространственной структуры «острова тепла» возможно либо при организации эпизодических учащенных измерений, либо с использованием данных спутникового зондирования.

Средние многолетние значения ΔT (интенсивности «острова тепла») составляют обычно от 1 до 2°C и, при прочих равных условиях, в средних широтах больше, чем в тропиках [1 и др.]. Для Москвы в середине XX века ΔT составляло около 1,5°C [4]. Максимальные оценки интенсивности «острова тепла» $\Delta T_{\max}$ (обычно — ночью) могут достигать в отдельных случаях 10°C и даже более [3 и др.]. Однако последние нуждаются в проверке, поскольку часто характеризуют особые условия прохождения атмосферных фронтов и связанной с ними пространственной неоднородности в поле T . Для Москвы в первые годы XXI века значение $\Delta T_{\max}$ несколько раз достигало 10°C, а один раз составило даже почти 14°C [4]. Одним из интересных эффектов, связанных с «островом тепла», служит недельный ход температуры воздуха T . В условиях Москвы в среднем за 40 лет T последовательно растет с понедельника по пятницу и резко уменьшается в выходные дни [4] (рис. 1). Возможно, это — следствие накопления городской индустриальной дымки в будние дни, уменьшающей эффективное длинноволновое излучение. Однако статистическая значимость подобных различий остается пока недоказанной. Так или иначе, причины любых достоверных изменений в недельном ходе, очевидно, должны быть связаны с человеческой деятельностью, поскольку в природе подобной устойчивой периодичности не существует.

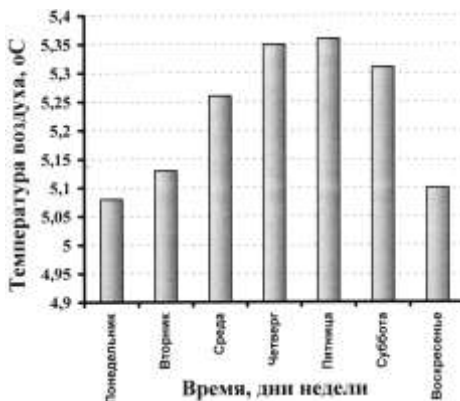


Рис. 1. Недельный ход температуры воздуха в Москве за период 1961–2001 гг., °C [4].

Литература

1. Кратцер П.А. Климат города. М., изд-во «Иностранная литература», 1958.
2. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л., Гидрометеиздат, 1983, 248 с.
3. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя. Л., Гидрометеиздат, 1982, 360 с.
4. Lokoshchenko M.A. and Isaev A.A. Influence of Moscow city on the air temperature in Central Russia. Proceedings of the 5th International Conference on Urban Climate. Poland, Lodz, 2003, Vol. 2, pp.449–453.
5. Lokoshchenko M.A. and Vasilenko E.L. «Change of air temperature in Moscow during last two and quarter centuries». In: Proceedings of the 7th International Conference on Urban Climate, Japan, Yokohama, 2009, paper index: B8–5.

Гравитационные течения в стратосфере, вызванные эксплозивными вулканическими извержениями

К.Б.Моисеенко¹, Н.А.Малик²

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

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Мощные вулканические извержения эксплозивного типа сопровождаются выбросом в атмосферу большого количества тефры (термин, введенный S. Thorarinsson [1]) — обломочных образований, имеющих признаки воздушной транспортировки из кратера. По размерам частиц тефра подразделяется на бомбы (> 50 мм), лапилли (2–50 мм) и вулканический пепел (< 2 мм). В процессе извержения, вовлечение окружающего воздуха и его разогрев в результате контакта с сильно разогретыми вулканическими породами и газами приводит к формированию эруптивной колонны, в которой частицы тефры в восходящих конвективных течениях переносятся на значительные высоты (в отдельных случаях до 30 км и выше). Дальнейшее распространение вулканического пепла в атмосфере, а также пространственное распределение массы выпавшей на подстилающую поверхность легкой фракции (лапилли и пепла), в большой степени определяется не только условиями переноса в «фоновой» (невозмущенной) атмосфере, но и динамикой воздушных потоков непосредственно в эруптивной колонне [2].

Атмосферный перенос продуктов извержений определяет их воздействие на среду обитания человека в широком диапазоне пространственных масштабов — от локального, через увеличение концентраций токсичных соединений в близлежащих водоемах и в воздухе и повышение кислотности, до глобального, через увеличение содержания стратосферного аэрозоля. Надежное прогнозирование распространения пепловых шлейфов является частью общей проблемы повышения безопасности полетов авиации. Определение общей массы (объема) изверженного пепла также имеет большое значение в вулканологии, как часть оценки суммарного геологического эффекта извержения, который складывается из определения массы всех изверженных пород.

Целью данной работы являлось исследование основных факторов, определяющих распространение вулканического пепла в атмосфере, в приложении к задаче о восстановлении общей массы пепла, поступающего в атмосферу в ходе мощных извержений эксплозивного типа. На основе разработанной численной модели динамики стратифицированных адиабатических воздушных потоков исследуется процесс переноса вулканического пепла непосредственно в конвективной струе (эруптивной колонне) и «слое отрицательной плавучести», возникающем вблизи верхней границы колонны в интервале высот между уровнем нейтральной плавучести струи и высотой ее максимального подъема. Формирующееся на этих высотах грави-

тационное течение, возникающее в результате притока массы более плотного (по сравнению с окружающей атмосферой) воздуха в конвективной струе, играет значительную роль в дальнейшей эволюции пепловых шлейфов [2]. Результаты модельных расчетов плотности выпавшего на подстилающую поверхность пепла сопоставлены с данными отбора проб для двух эпизодов эксплозивных извержений камчатских вулканов — Безымянный (извержение 24 декабря 2006 г., 21:20–22:10 м.вр., пепловая колонна до высоты около 13 км) и Карымский (выброс 21 апреля 2007 г., 17:05–17:30 на высоты 1–4,5 км). Полученные модельные оценки суммарного выброса пепла (2–4 Мт) для вулкана Безымянный хорошо согласуются с независимыми оценками, полученными как непосредственно из измерений (~ 4 Мт), так и косвенным методом, по высоте пепловой колонны.

Результаты работы в целом свидетельствуют о возможности эффективного использования моделей атмосферного переноса/осаждения при исследованиях динамики воздушных потоков, индуцированных эксплозивными извержениями, а также для восстановления объемов пепловых выбросов, в дополнение к существующим методам оценок данного параметра.

Литература

1. *Thorarinsson, S.* The eruption of Hekla, 1947–48II, 3, The tephra-fall from Hekla, March 29th, 1947 // *Visindafélag Íslendinga*. 1954. P. 1–3.
2. *Bursik, M.* Tephra dispersal. // *Geological Society, London, Special Publications*. 1998. V. 145. P. 115–144. DOI: 10.1144/GSL.SP.1996.145.01.07

Поляризационные измерения фона ночного неба: Исследования зодиакального света, собственного атмос- ферного свечения и фона рассеяния в тропосфере

О.С.Угольников, И.А.Маслов

Институт космических исследований РАН, Москва

Фон ночного неба характеризуется сложной структурой и состоит из множества компонент с различной природой и оптическими свойствами. Излучение, приходящее в виде ночного фона, может возникать как в низких слоях земной атмосферы, так и в Солнечной системе, в Галактике и даже за ее пределами.

Значительная часть фона ночного неба возникает в результате рассеяния излучения сторонних источников в различных средах — атмосфера, межпланетная среда. Соответствующие компоненты фона обладают поляризацией, измерения которой позволяют выделять данные составляющие на фоне остальных и исследовать свойства рассеивающих сред.

Если в ночной период на небе присутствует Луна (особенно вблизи полнолуния), то основной вклад в фон неба вносит тропосферное рассеяние лунного света. После отделения остальных компонент мы получаем картину, аналогичную фону дневного неба, но с существенно меньшей интенсивностью. Измерения этого фона позволяют определить поляризационную функцию рассеяния тропосферной среды в ночной период, выделить и исследовать свойства аэрозольного рассеяния в это время.

В безлунные ночи фон неба представлен собственным свечением атмосферы (вместе с атмосферным рассеянием света различных источников), зодиакальным светом, образованным рассеянием солнечного излучения в межпланетной среде, галактическим фоном, включающим свет слабых звезд.

Целью настоящей работы является выделение и исследование свойств различных составляющих фона ночного неба на основе широкоугольных поляризационных измерений в желто-зеленой области спектра (эффективная длина волны 525 нм), проведенных в Южной лаборатории ГАИШ МГУ в поселке Научный (Крым) в 2002–2009 годах. В результате этих измерений выделена поляризационная функция рассеяния тропосферной среды для зимнего и летнего сезона, установлены поляризационные свойства свечения атмосферы в безлунный период. Построена зависимость интенсивности и поляризации зодиакального света от углового расстояния от Солнца вдоль эклиптики.

Поляризационные измерения фона ночного неба являются чувствительным инструментом для выделения его малых составляющих. Подтверждением этому стала регистрация фона атмосферного рассеяния от Венеры, уступающей по яркости полной Луне в 1500 раз.

Разработка методических средств мониторинга УФ составляющей приземного солнечного излучения

В.Ю.Агеева

Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы, Минск

Организация систематического контроля уровней и доз естественного ультрафиолетового излучения, достигающего поверхности Земли, стала одним из приоритетных направлений в последние два десятилетия, когда мировое сообщество осознало реальную угрозу отрицательного воздействия антропогенного фактора на состояние озонового слоя.

Целью данной работы является разработка методических подходов определения значения УФ индекса и суточных доз солнечного биологически активного УФ излучения на основе данных широкополосных фотометров.

Для аппаратного обеспечения сетевого мониторинга уровней солнечного УФ излучения достаточно, в силу специфики решаемых ими задач, использования простых и дешевых полосовых фильтровых приборов. Для оснащения сети в рамках Программы развития НСМОС в НИИЦ МО БГУ создан автоматизированный двухканальный УФ фотометр. В приборе используются фильтры с полушириной ≈ 20 нм с максимумами пропускания 293 и 326 нм. Измерения проводятся каждые 30 сек в течение светового дня в автоматическом режиме. В конце дня объектным компьютером формируется суточный файл данных.

Разработана методика валидации результатов определения УФ индекса и эритемной дозы широкополосным фильтровым фотометром путем использования данных параллельных спектрорадиометрических измерений. Предложенная методика реализована на Минской озонометрической станции сравнением данных двухканальных УФ фотометров с результатами измерений спектрорадиометра ПИОН-УФ.

Типичные значения УФ индекса для летних месяцев составляют 4–4,5, а суточные значения эритемной дозы — порядка 3–3,5 кДж/м²

Полученные результаты послужат основой для дальнейшей работы по оценке уровней и доз солнечного УФ излучения. В долгосрочной перспективе планируется создание сети наблюдательных пунктов и долгосрочная оценка режима УФ излучения на территории Республики.

**Оценка мощности подводного источника метана
по измерениям атмосферных концентраций
с помощью гауссовой модели распространения примеси,
двумерной численной модели атмосферной диффузии
и модели HYSPLIT**

А.А.Аниферов, И.А.Репина

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

Исследования, проведенные сотрудниками Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН при участии арктического научного центра Университета Аляска Фэрбэнкс (США) в 2003–2008 году, показали, что в некоторых районах морей Восточной Арктики наблюдаются повышенные концентрации метана в водной толще и атмосфере. В этой работе оценивается мощность подводного источника метана в Арктике, описанного в работе [1], с помощью гауссовой модели распространения примеси, двумерной численной модели атмосферной диффузии и модели HYSPLIT. В модели HYSPLIT подбирается мощность и координаты источника для лучшего соответствия с экспериментальными данными. Полученные результаты сравниваются. Анализируется их несовпадение от соответствующих параметров моделей и дается интервал значений мощности источника метана.

Литература

1. *Шахова, Н.Е.* Метан в морях Восточной Арктики / Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук.

Модернизация самолета-лаборатории на базе Ан-2

*П.Н.Антохин¹, М.Ю.Аришинов^{1,2}, Б.Д.Белан¹, С.Б.Белан¹, Д.К.Давыдов¹,
Г.А.Ивлев¹, А.В.Козлов^{1,3}, Д.А.Пестунов^{1,3}, А.В.Фофонов¹, G.Inoue⁵, H.Sutoh⁷,
T.Machida⁴, K.Shimoyama⁶, Ш.Максютов⁴*

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

² Томский Государственный университет, Томск

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

⁴ National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

⁵ Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto, Japan

⁶ Hokkaido University, Sapporo, Japan

⁷ Japan Aerospace Exploration Agency, Tsukuba, Japan

Самолетное зондирование в современных исследованиях окружающей среды, вследствие достоинств самого метода, вносит значительный вклад в изучение атмосферы и подстилающей поверхности. В рамках совместной российско-японской программы два раза в месяц производится вылет самолета Ан-2 для получения профиля CO_2 и основных метеорологических параметров. Исследуемый район является фоновым и расположен возле поселка Березоречка (в 60 км от Томска).

Проведенная модернизация позволяет установить 7 дополнительных газоанализаторов с суммарным расходом 20 л/мин. Система включает в себя не только часть, доставляющую и распределяющую пробу атмосферного воздуха до приборов, но и систему визуализации и регистрации атмосферных параметров в реальном времени.

Система регистрации представляет собой программно-аппаратный комплекс. Управляющее программное обеспечение создано в среде Lab VIEW, а аппаратная часть использует 12 разрядный АЦП.

Используя систему подачи пробы и регистрации на борту самолета Ан-2 установлен озонметр 3.02П, модернизированный для проведения быстрых измерений. В настоящий момент, используя данную модернизацию удалось получить несколько профилей озона в диапазоне высот от 100 (200) до 3000 (2000) м.

Работа выполнена при поддержке программ: Президиума РАН №16 «Окружающая среда в условиях изменяющегося климата: экстремальные природные явления и катастрофы», Отделения Наук о Земле РАН №5 «Наноразмерные частицы в природе и в техногенных продуктах: условия нахождения, физические и химические свойства и механизмы образования», гранта РФФИ № 08-05-92499, госконтрактов Минобрнауки № 02.518.11.7153, 02.740.11.0674 и 14.740.11.0204.

Вертикальное распределение озона в нижней тропосфере в фоновом районе Томской области

П.Н.Антохин¹, М.Ю.Аршинов^{1,2}, В.Г.Аршинова¹, Б.Д.Белан¹, С.Б.Белан¹,
Д.К.Давыдов¹, Г.А.Ивлев¹, А.В.Козлов^{1,3}, Д.А.Пестунов^{1,3},
Т.М.Рассказчикова¹, А.В.Фофонов¹, G.Inoue⁵, H.Sutoh⁷, T.Machida⁴,
K.Shimoyama⁶, Ш.Максютов⁴

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

² Томский Государственный университет, Томск

³ Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, Томск

⁴ National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

⁵ Research Institute for Humanity and Nature, Kyoto, Japan

⁶ Hokkaido University, Sapporo, Japan

⁷ Japan Aerospace Exploration Agency, Tsukuba, Japan

Биологические и медицинские исследования показали, что озон в тропосфере является сильнодействующим ядом, обладающий как общетоксическим так и рядом других свойств как мутагенность, канцерогенность, радиометрический эффект. По степени воздействия токсичности, при прямом воздействии на человека и животных озон превосходит такой известный яд как синильная кислота. Такое многообразие возможных отрицательных последствий от увеличения концентрации тропосферного озона как для человека, так и для окружающей среды приводит к необходимости постоянного контроля его концентрации, особенно в приземном слое воздуха.

В данной работе проведено сравнение вертикальных профилей озона, полученных в фоновых районах Томской и Новосибирской областей. Для измерения озона использовался хемилюминесцентный озонметр 3-02П изготовленный ЗАО «ОПТЭК», который был установлен на самолете-лаборатории Ан-2. Данный самолет совершал вылеты в фоновый район в 60 км. от Томска. Профили для Новосибирской области были получены при помощи самолета-лаборатории «Оптик-Э» на базе самолета Ан-30, который осуществлял вылеты в фоновый район вблизи поселка Ордынское. Измерения проводились с разницей не более 6 дней, когда оба района находились в одной воздушной массе.

Работа выполнена при поддержке программ: Президиума РАН №16 «Окружающая среда в условиях изменяющегося климата: экстремальные природные явления и катастрофы», гранта РФФИ № 08-05-92499, госконтрактов Минобрнауки № 02.518.11.7153, 02.740.11.0674 и 14.740.11.0204.

**Долговременный ряд содержания NO₂ по прямому
солнечному излучению на Кисловодской научной
станции с 1981 по 2008 гг.**

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

При помощи методики DOAS обработан уникальный 30-летний ряд спектроскопических наблюдений NO₂ по прямому солнечному излучению, полученный на Кисловодской высокогорной научной станции с 1981 по 2008 гг. Уникальность этого ряда заключается в том, что он является единственным в мире долгосрочным рядом наблюдений по прямому солнечному излучению.

Проведен анализ полученных данных. Результаты восстановленного вертикального содержания NO₂ сравнены с данными, полученными другими методами.

Автоматизированная установка для измерения малых составляющих атмосферы

И.И.Бручковский, В.С.Демин

Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы, Минск

Для дистанционного мониторинга состояния атмосферы используют оптические методы. Среди них несомненным преимуществом обладает метод MAX-DOAS (Multi Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy), который позволяет оперативно (в режиме реального времени) восстанавливать профиль вертикального распределения концентрации малой газовой примеси в течение светового дня для каждой пятиминутной серии измерений, что очень важно при исследовании фотохимических процессов происходящих в атмосфере. Кроме того, методика позволяет проводить измерения пространственного распределения концентраций малых газовых составляющих атмосферы.

Для практической реализации методики MAX-DOAS разработана автоматизированная установка на базе лабораторного спектрографа ORIEL MS257. В установке реализована система ввода излучения, позволяющая регистрировать спектры рассеянного солнечного света под разными углами возвышения в диапазоне 0–90°. Установка управляется дистанционно и может работать в автономном режиме. Для защиты от внешних воздействий и повышения точности измерений, спектрограф помещен в термостабилизированный корпус.

С использованием пакета WIN DOAS проведен предварительный анализ полученных спектров, восстановлено наклонное содержание димера кислорода и двуокиси азота для разных метеоусловий.

Вековые изменения атмосферного давления в Москве

Е.Л.Василенко, М.А.Локощенко

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

Данная статья завершает цикл наших совместных работ [1–3], посвященных восстановлению вековых рядов различных метеорологических величин в Москве, а также некоторым другим вопросам климатологии. Здесь нашей задачей явилось изучение многолетних изменений среднегодовых значений атмосферного давления P в столице. Были использованы данные измерений на станции Мангеймской сети в 1783–1792 гг.; в Императорском Московском университете в центре города в 1810–1812 гг.; в Астрономической обсерватории в районе Пресни в 1838–1846 гг.; в Обсерватории им. Михельсона в 1879–1953 гг. и в Метеорологической обсерватории МГУ с 1954 по 2006 гг. К сожалению, очевидно существовавшие данные Межевого института в период с 1853 по 1878 гг. нам найти не удалось. Для корректного сравнения с современными значениями все измерения P в прошлом были приведены в созданной нами электронной базе данных к новому стилю с учетом фактических различий между датами юлианского и григорианского календарей: 11 дней до 1800 г. и 12 дней с 1800 до 1900 гг. В конце XVIII века P измерялось в парижских дюймах (1 дюйм = 27,07 мм), в начале XIX века — в английских дюймах (1 дюйм = 25,4 мм), позднее — в мм. Все старые данные пересчитаны нами в современные единицы измерений — гПа. Значительный элемент методической неопределенности связан с отсутствием сведений об учете температурной поправки на давление в XVIII веке, а также с неизвестным местонахождением Мангеймской станции. За высоту последней мы условно приняли среднее значение по выборке 49 топографических измерений высоты над уровнем моря в пределах современного Бульварного кольца, почти совпадающего с границами города в XVIII веке — 138,6 м. Заметим, что поверхность здесь представляет собой в основном первую надпойменную террасу Москвы-реки и довольно ровная ($\sigma = \pm 12$ м). Т.о., возможная систематическая ошибка с учетом стандартной барической ступени, скорее всего, не превышает 1–2 гПа.

В процессе анализа выяснилось, что данные измерений в 1788, 1789, 1791, 1792, 1810–1812 и в 1838 г., к сожалению, нереально занижены — на 10–15, а в 1810–1812 гг. — даже на 30 гПа. Последние соответствуют измерениям P на вершине шпиля Главного здания МГУ — совершенно очевидно, что столь высоких зданий в Москве в то время не было. Скорее всего, причиной этих отклонений послужили неисправности барометров. На Мангеймской станции, возможно, барометр вышел из строя в результате исключительно морозной зимы 1787 г., когда в Вологодском наместничестве наблюдалось даже замерзание ртути. Данные годы были исключены нами из рассмотрения. Для проверки надежности измерений P и возможности объединения в едином

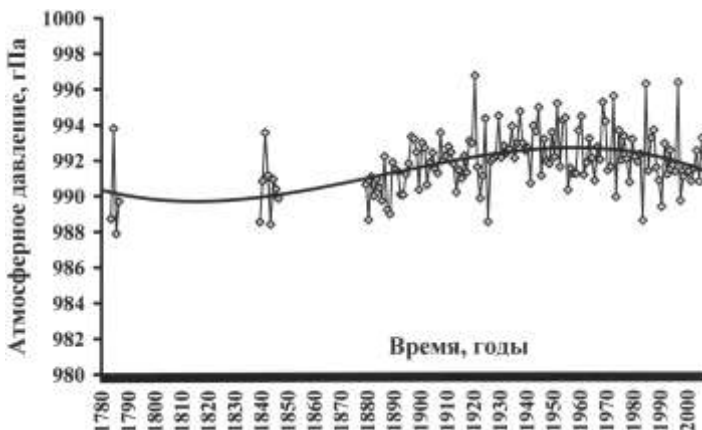


Рис. 1. Вековой ход атмосферного давления в Москве в 1783–2006 гг.

ряде данных разных станций мы провели сравнение среднеемесячных значений по станциям Межевой институт и Обсерватория Михельсона за 1893–94 гг., а также Обсерватория Михельсона (ТСХА) и МГУ за 1954 г. Линейный коэффициент корреляции составил соответственно 0,9995 и 0,9996, так что связь в обоих случаях чрезвычайно тесная.

На рис. 1. приведен полный ряд среднегодовых значений P . К сожалению, значительные пропуски в данных в первой половине XIX века не позволяют надежно выявить тенденции изменений P в то время. Кубический тренд показывает некоторое уменьшение P во второй половине XX века. Вероятно, оно связано с увеличением повторяемости циклонических условий зимой. В годовом ходе наименьшее атмосферное давление отмечается летом, наибольшее — в холодное время года.

Авторы благодарят зав. Обсерваторией им. Михельсона (ТСХА) Татьяну Михайловну Росинскую за любезно предоставленные данные.

Литература

1. Курина (Василенко) Е.Л., Локощенко М.А. Климат Москвы в восемнадцатом веке. В сб.: Тезисы докладов X Всероссийской конференции молодых ученых «Состав атмосферы. Климатические эффекты. Атмосферное электричество». М., Макс-Пресс, 2006, с.16–17.
2. Василенко Е.Л., Локощенко М.А. Анализ достоверности легендарных отклонений в годовом ходе метеорологических величин. В сб.: Тезисы докладов XII международной конференции молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы». Борок, 2008, с.85–86.
3. Василенко Е.Л., Локощенко М.А. Вековые изменения показателей влажности в Москве. В сб.: Тезисы докладов XIII международной конференции молодых ученых «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические процессы». Звенигород, 2009, стр.22–23

Верификация метеорологического параметра загрязнения атмосферы с использованием в качестве маркера загрязнения — монооксида углерода

А.А.Глазкова

Гидрометцентр России, Москва

Дается определение метеорологического параметра загрязнения для расчета, которого используется скорость переноса в пограничном слое, термическая устойчивость с учетом осадков и адвекции.

Рассчитан типовой суточный ход концентрации СО для станций разного типа: а) по городским станциям, б) по загородным климатически наветренным относительно мегаполиса станциям (Зеленоград и Звенигород), в) по станциям подветренной части восточной части Москвы. Концентрации угарного газа получены по данным автоматизированных станций контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) «Мосэкомониторинг».

Обсуждаются особенности суточной динамики СО на станциях трех типов. Внутри суток выделены четыре периода с характерным уровнем загрязнения и особенностями метеоусловий. По данным 2010 г., включая периоды поступления дымов от природных пожаров, проводились численные эксперименты по выявлению информативной характеристики загрязнения (СО), наиболее чувствительной к воздействию атмосферных процессов.

Статистические характеристики вариаций концентрации CO₂ в пограничном слое г. Москвы

П.С.Глядков

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

В 2006 году в г. Москва ГПУ «Мосэкомониторинг» был начат мониторинг концентрации ряда газов (CO₂, CO, NO₂ и некоторых других) на телебашне Останкино. Три автоматических поста расположены на уровнях 130 м, 248 м и 348 м.

В данной работе проанализированы вариации концентрации углекислого газа на трех указанных постах за период с 19 июля 2007 года по 31 марта 2008 года.

Получены данные о суточном ходе и сезонных изменениях концентрации углекислого газа. Рассчитаны основные статистические характеристики ее изменчивости. Проанализированы статистические взаимосвязи между концентрациями CO₂ на разных высотах в пограничном слое атмосферы.

Выполнено сопоставление вариаций концентрации CO₂ с вариациями концентраций других газовых компонент загрязнения в воздушном бассейне г. Москвы [1].

В работе использованы результаты измерений концентрации углекислого газа на сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха ГПУ «Мосэкомониторинг».

Литература

1. *Горчаков Г.И* Вертикальные профили концентраций угарного газа и оксидов азота в пограничном слое городской атмосферы / Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Глядков П.С., Карпов А.В., Колесникова А.Б., Лезина Е.А. // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 8. С. 787–794.

Ионосферные флуктуации в данных радиозатменного зондирования атмосферы Земли: статистические свойства и алгоритм оптимальной фильтрации

Г.И.Еськин, М.Е.Горбунов

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

Радиозатменное зондирование основано на просвечивании атмосферы сигналами системы GPS и их приеме на искусственном спутнике Земли. Высота орбиты принимающего спутника составляет обычно 600–800 км, а высота спутников системы GPS около 25000 км. Ионосфера расположена на высотах 70–600 км. Таким образом, радиосигналы, используемые для зондирования, обязательно проходят через ионосферу. Пространственные вариации поля электронной концентрации включают очень широкий спектр масштабов, как минимум от десятков метров до десятков километров.

Система GPS имеет два частотных канала (L1 с частотой 1,57542 ГГц и L2 с частотой 1,22760 ГГц). Выбор этих каналов определялся тем, чтобы обеспечить возможность удаления из измеряемых оптических путей (эikonалов) сигналов фазовую задержку, связанную с ионосферой. Эта операция называется ионосферной коррекцией и основана на том, что ионосферный показатель преломления обратно пропорционален квадрату частоты [1]. Пользуясь приближением геометрической оптики, можно рассматривать радиолучи. Считая возмущения радиолучей по отношению к лучам, соответствующих распространению в нейтральной атмосфере и вакууме, малыми, можно воспользоваться первым (линейным) порядком теории возмущений для эйконала. В линейном приближении ионосферный набег оптического пути будет также обратно пропорционален квадрату частоты. Это позволяет записать нейтральную компоненту оптического в виде линейной комбинации оптических путей в каналах L1 и L2.

Применимость указанного приближения ограничена наличием в ионосфере мелкомасштабных возмущений. Для них оказывается неприменимым как линейное приближение, так и приближение геометрической оптики. Фактически линейная коррекция работает для возмущений с масштабами порядка 1 км и более [2].

В данной работе мы изучаем статистические свойства флуктуаций эйконала, измеряемых для лучей с высотами перигеев 80–100 км, где вклад нейтральной атмосферы пренебрежимо мал. Данные на этих высотах измеряются в режиме фазовой автоподстройки с частотой выборки 50 Гц. Измеряемый сигнал промодулирован навигационными битами также с частотой 50 Гц, содержащими информацию об орбитах спутников, времени GPS и другие сведения. С целью удаления навигационных бит из сигнала приемник не различает оптические пути, отличающиеся на полуволну, т.е. нечув-

ствителен к знаку сигнала. Это возможно делать без потери информации, поскольку вариации истинного оптического пути между выборками сигнала существенно меньше полуволны.

Данные в канале L2 характеризуются существенно более высоким уровнем шума по сравнению с каналом L1. При этом в данных часто наблюдаются скачки оптического пути на полуволну, не имеющие физического смысла. Мы рассматриваем предварительную обработку данных в канале L2, включающую удаление этих скачков. В результате вычисляются соединенные записи оптических путей в канале L2.

В измеренных данных L2 часто заметны сильные низкочастотные флуктуации, соответствующие масштабам, заметно превышающим 1 км. Такие флуктуации отсутствуют в канале L1. Такое различие между двумя каналами может объясняться только измерительными погрешностями.

Мы проводим спектральный анализ флуктуаций оптических путей и вычисляем их автоспектры для каналов L1 и L2 и кросс-спектр. Мы также вычисляем коэффициент корреляции флуктуаций оптического пути между каналами L1 и L2 как функцию пространственной частоты. Максимум коэффициента корреляции расположен в районе пространственных частот соответствующих масштабам около 1 км, где он достигает 0,9. Для более высоких частот падение корреляции объясняется как дифракционными эффектами, так и высокочастотным измерительным шумом. Для более низких частот падение корреляции связано с низкочастотными измерительными шумами. Пользуясь полученными корреляционными функциями, мы синтезируем оптимальный фильтр для удаления ионосферных флуктуаций из измеренных оптических путей.

Литература

1. *Дэвис, К.* Радиоволны в ионосфере. М.: Мир, 1973. 504 с.
2. *Воробьев В.В.* Фоновые флуктуации при радиопросвечивании ионосферы в эксперименте GPS-Microlab-1. / В.В. Воробьев, В. Кан // Известия ВУЗов, Радиофизика. 1999. Т. XLII. № 6. С. 511–523.

Метод восстановления профиля двуокиси азота в атмосфере по измерению рассеянного в зените солнечного излучения в сумерки

В.А.Иванов, А.С.Елохов, О.В.Постыляков

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

Начиная с 1990 года, на Звенигородской научной станции выполняются спектральные измерения интенсивности рассеянной из зенита солнечной радиации спектрофотометром на базе монохроматора МДР-23. Наблюдения проводятся в сумерки при зенитных углах солнца 84–96°. В работе представлены первые результаты модификации метода восстановления профиля NO₂ по сумеречным наблюдениям. Метод обладает строгим математическим подходом к использованию априорной информации, анализу ошибок и оценке качества измерений. Для стратосферы точность восстановления содержания NO₂ порядка 10%. Для пограничного слоя атмосферы она зависит от величины содержания NO₂ в этом слое и не превышает единиц на 10¹⁵ мол/см². Сравнение общего содержания NO₂ в стратосфере полученного по новому методу со стратосферным содержанием NO₂ полученным по методу [1] показало, что в целом данные восстановления согласуются.

Литература

1. *Елохов А.С., Груздев А.* Измерения общего содержания и вертикального распределения NO₂ на Звенигородской научной станции // Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36. № 6. С. 831–846.

Модернизированная мобильная станция «АКВ-2» для мониторинга параметров атмосферы в городских условиях

Г.А.Ивлев, П.Н.Антохин, С.Б.Белан, А.В.Козлов

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

В докладе представлены характеристики мобильной станции «АКВ-2» (рис. 1.) модернизированной (таб. 1.) по сравнению с описанным ранее в литературе [1] вариантом.

Таблица 1. Состав измерительного комплекса

Прибор	Параметр	Диапазон, погрешность
Метеокомплекс ИОА СО РАН	Температура	$-50 \dots +50 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$
	Относительная влажность	$10 \dots 100\% \pm 5\%$
	Скорость ветра	$0,5 \dots 60 \text{ м/с} \pm 5\%$
	Направление ветра	$0 \dots 360^{\circ} \pm 10\%$
С310 (Оптек)	SO_2	$0 \dots 2000 \text{ мкг/м}^3 \pm 25\%$
Р-310А (Оптек)	NO	$0 \dots 1000 \text{ мкг/м}^3 \pm 25\%$
	NO_2	$0 \dots 1000 \text{ мкг/м}^3 \pm 25\%$
З-02П (Оптек)	O_3	$0 \dots 1000 \text{ мкг/м}^3 \pm 15\%$
СВ-320 (Оптек)	H_2S	$0 \dots 200 \text{ мкг/м}^3 \pm 15\%$
Н-320 (Оптек)	NH_3	$0 \dots 1000 \text{ мкг/м}^3 \pm 15\%$
Li-820	CO_2	$0 \dots 20000 \text{ млн.}^{-1} \pm 6\%$
К-100 (Оптек)	CO	$0 \dots 400 \text{ мг/м}^3 \pm 20\%$
GRIMM 1.109	Дисперсный состав аэрозоля	$0,25 \dots 20 \text{ мкм} \pm 5\%$
Диффузионный спектро- метр аэрозоля (8-ка- нальная сетчатая диффу- зионная батарея с новым конденсационным счет- чиком частиц TSI 3781)		$4 \text{ нм} \leq d \leq 200 \text{ нм},$ $N \text{ до } 10^5 \text{ см}^{-3}, \pm 10\%$

В ходе модернизации АКВ-2 были внесены изменения в систему управления приборами и передачи сигналов от измерительной аппаратуры к ЭВМ. В диффузионном спектрометре аэрозоля (8-канальная сетчатая диффузионная батарея) был установлен новый счетчик частиц, фотоэлектрический счетчик частиц АЗ-6 был заменен на анализатор GRIMM 1.109. Вместо ранее использовавшегося анализатора CO_2 работающем в оптическом ИК диапазоне производства (Оптек) был установлен газоанализатор Li-820.

В результате модернизации АКВ-2 удалось значительно повысить надежность измерений во время движения. Исчезли самопроизвольное размыкание контактов сигнальных проводов, вызываемое вибрацией кузова автомобиля, а также всевозможные электрические наводки на сигнальные про-

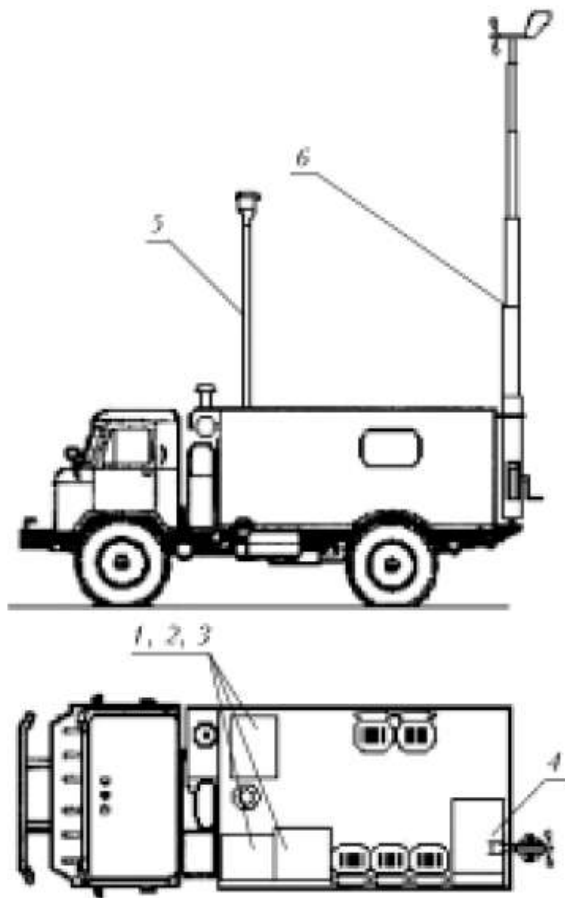


Рис. 1. Внешний вид и размещение оборудования: 1, 2, 3 — стойки с ЭВМ, анализаторами газа и аэрозоля; 4 — аккумуляторный отсек, преобразователи и блоки питания; 5 — заборники воздуха; 6 — выдвижная мачта с метеокomплексом.

вода. Замена части газовых и аэрозольных анализаторов на их новые аналоги позволила повысить качество получаемых данных.

Литература

1. Г.А. Ивлев Мобильная станция АКВ-2 и ее применение на примере г.Томска / М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, Д.К. Давыдов, Г.А. Ивлев, А.В. Козлов, Д.А. Пестунов, Е.В. Покровский, Д.В. Симоненков, Н.В. Ужегова, А.В. Фофонов // Оптика атмосферы и океана 2005. Т. 18, №8. с. 643–648.

Влияние стандартного отклонения вертикальной составляющей ветра на приземное содержание малых газов

И.А.Корнева¹, М.А.Локощенко¹, Н.Ф.Еланский², В.Г.Перепёлкин²

¹ Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

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

Акустическое зондирование атмосферы позволяет измерять в непрерывном режиме профили стандартного отклонения вертикальной составляющей скорости ветра — σ_w . Данный показатель является пограничным в ряду характеристик ветрового режима и термической турбулентности. Косвенно он характеризует степень атмосферной устойчивости и, следовательно, условия рассеивания загрязняющих примесей, что определяет его важность для задач экологического мониторинга. Обычно высотные профили значений σ_w рассчитываются по содарным данным на основе оценок ширины спектра эхо-сигнала. Однако возможны также статистические оценки этого показателя на основе выборочных данных содарных измерений вертикальной составляющей скорости ветра W [3,4].

В Метеорологической обсерватории МГУ на протяжении ряда лет (с 2004 по 2009 гг.) проводились одновременные измерения профилей σ_w обоими методами с использованием как доплеровской приставки к вертикальному содару «ЭХО-1» производства ГДР [2,3], так и доплеровского содара «MODOS» производства фирмы МТЕК (Германия) [1,4].

Рассмотрим влияние значений σ_w на приземное содержание малых газов по данным совместной экологической станции ИФА РАН и МГУ. Как видно на рис. 1, синхронные измерения обоими содарами σ_w демонстрируют близкую к гиперболической связь с окисью углерода, вырабатываемой преимущественно низкими источниками выбросов (двигателями автомобилей). Неудивительно, что наиболее высокие значения CO отмечаются в условиях приземной инверсии и сравнительно малых значений σ_w . Напротив, статистические связи σ_w с содержанием приземного озона близки к линейным. Несмотря на заметный разброс данных, они статистически значимы для обоих методов расчета σ_w : линейный коэффициент корреляции в отсутствие приземной инверсии составляет для статистических оценок σ_w по данным «ЭХО-1» 0,45, а для спектральных по данным «MODOS» — 0,57. Наибольшие уровни приземного O₃ наблюдаются в отсутствие приземной инверсии и при высоких значениях σ_w (> 0,7 м/с), т.е. при интенсивном вертикальном перемешивании. Очевидная причина этого эффекта — рост содержания озона с высотой. Примечателен качественно сходный характер статистических связей в обоих случаях независимо от метода расчета σ_w .

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-05-01130.

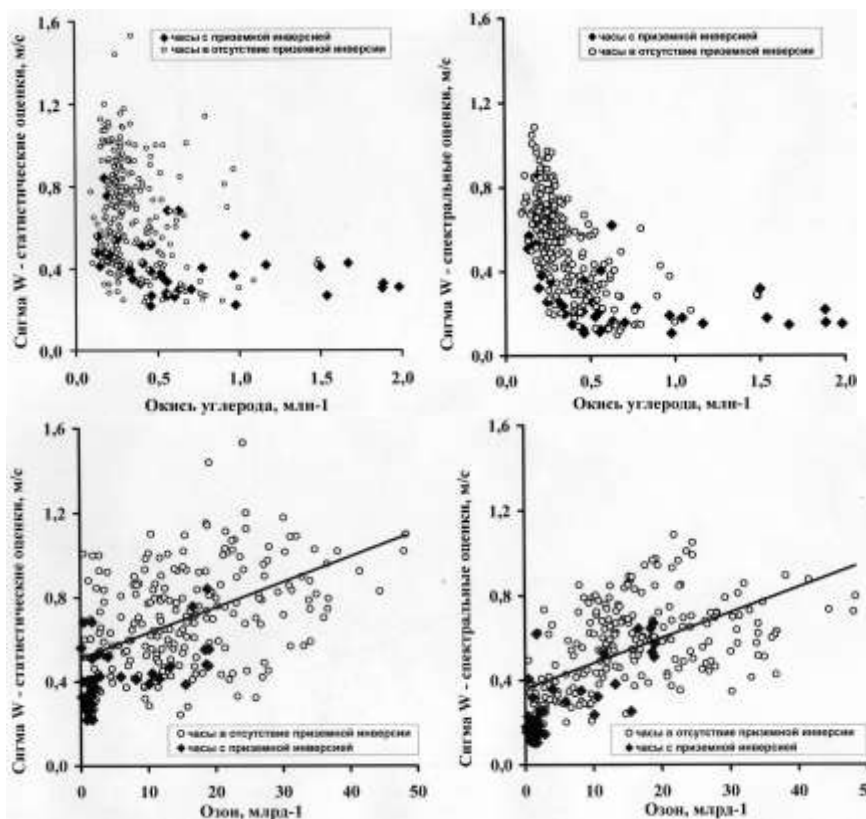


Рис. 1. Связи среднечасовых значений σ_w с приземным содержанием малых газов при разной температурной стратификации (слева – по данным содара «ЭХО-1», справа – по данным содара «MODOS») за период с 25/VII по 06/VIII 2006 г.

Литература

1. Корнева И.А., Локощенко М.А. Стандартное отклонение вертикальной составляющей скорости ветра в Москве и его динамика по данным акустического зондирования. В сборнике: Тезисы докладов XIII конференции САТЭП. Звенигород, 2009, стр.42–43.
2. Локощенко М.А., Перепёлкин В.Г., Семёнова Н.В. Доплеровские содарные измерения вертикальной составляющей скорости ветра. М., Метеорология и гидрология, 2003, № 7, стр.40–50.
3. Lokoshchenko M.A., Perepelkin V.G., N.V.Semenova Standard Deviation of the Wind Vertical Component and its Dynamics in Moscow by the Sodar Data. Meteorologische Zeitschrift, 2007, Vol.16, No.4, pp.407–414.
4. Lokoshchenko M.A., Perepelkin V.G., Elansky N.F. and Korneva I.A. Sodar measurements of standard deviation of the wind vertical component: results of two methods. In: Proceedings of the 15th ISARS, Paris, France, 2010, 4 pp.

Содержание сажевого аэрозоля в атмосфере г. Москвы во время пожаров в сентябре 2002 г. и в августе 2010 г.

И.С.Мельникова¹, В.М.Копейкин²

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева, Москва

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

Представлены результаты наблюдений содержания сажевого аэрозоля в воздушном бассейне г. Москвы во время пожаров в сентябре 2002 г. и в августе 2010 г. Измерения проводились в центре города на территории института физики атмосферы РАН.

Во время пожаров в сентябре 2002 года концентрация сажи изменялась в диапазоне 0,8–11,5 мкг/м³, с максимумом концентрации сажи 17 сентября. При этом преобладающее число значений концентрации сажи находилось в интервале 2,1–5,2 мкг/м³ [1]. Концентрация сажи в августе 2010 г. (рис. 1) изменялась в диапазоне 2–22 мкг/м³, с максимумом концентрации сажи 6 августа. Преобладающее число значений концентрации сажи находилось в интервале 4–9 мкг/м³, что сопоставимо с вариациями содержания сажи в воздушном бассейне г. Москвы в августе за 10-летний период 2000–2009 гг.

Состояние атмосферы в первой половине августа 2010 года, по данным Гидрометцентра, определял устойчивый антициклон, располагавшийся в центре европейской части России. Анализ обратных 1-суточных траекторий

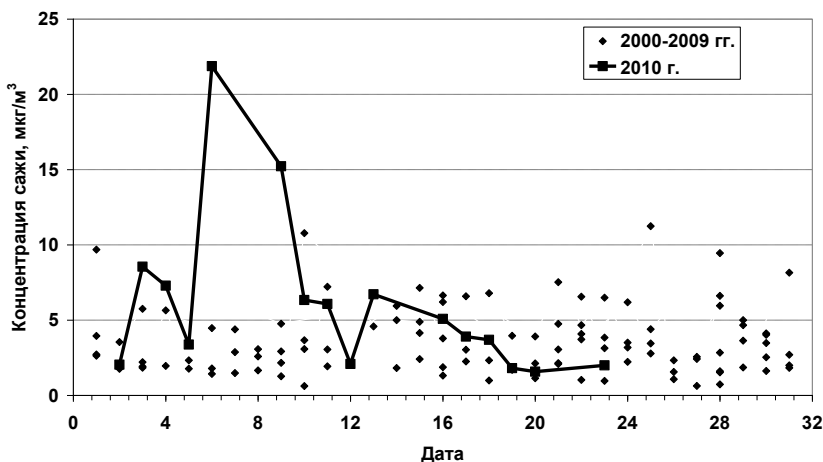


Рис. 1. Вариации содержания сажи в воздушном бассейне г. Москвы в августе 2010 г. (2010 г.) и концентрации сажи в г. Москве в августе за 10 лет (2000–2009 гг.).

переноса воздушных масс на уровне 1000 мб показал, что наибольшее повышение содержания сажевого аэрозоля в г. Москве наблюдалось с приходом воздуха с юго-восточного направления, где в это время существовали очаги пожаров (6–9 августа). 3, 4, 10 и 6, 9 августа траектории переноса воздушных масс проходят в области между Тулой и Рязанью, указывая источники дымов от происходивших там лесных пожаров. 13 августа, возможно, источниками дымов являются районы вблизи Шатуры и Нижнего Новгорода.

16–20 сентября 2002 года источниками загрязнения г. Москвы сажей являлись зоны горения торфяников, т.к. в этот период максимум концентрации сажи наблюдался при переносе воздушных масс от Шатуры.

На основе полученных данных наблюдений можно сделать следующие выводы:

1. Максимальная концентрация сажи в г. Москве во время лесных пожаров и горения торфяных 6–9 августа 2010 года в 2 раза превосходила максимальное содержание сажи в атмосфере г. Москвы 17 сентября 2002 года.

2. Продолжительность мощного загрязнения сажей воздушного бассейна г. Москвы составляла в августе 2010 г. за счет существования устойчивого антициклона в Европейской части России 4 суток, в отличие от длительности загрязнения атмосферы г. Москвы сажей в течение 14 часов в сентябре 2002 г., когда атмосферные процессы развивались более динамично.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 10-05-01019).

Литература

1. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Копейкин В.М. и др. Исследование состава задымленной атмосферы Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г. //Известия РАН, ФАО, том 40, №3, 2004, с. 366–380.

Детектирования предвестников землетрясений на основе метода «химического потенциала»

К.А.Боярчук¹, А.В. Карелин², А.В.Надольский³

¹ ОАО «НИИЭМ», Истра

² ИЗМИРАН им. Н.В.Пушкова, Троицк

³ ФГУП «НПП ВНИИЭМ», Москва

В настоящее время предлагается большое количество различных методов предсказания землетрясений [1]. Для создания надежной системы детектирования предвестников землетрясений следует опираться на те методы, которые имеют достаточно ясное физическое обоснование и допускают в перспективе возможность серьезного статистического анализа. Одним из таких методов является метод «химического потенциала». В основе его лежит мониторинг изменения химического потенциала паров воды в атмосфере в результате интенсификации конденсации на заряженных центрах, образующихся под воздействием продуктов распада радиоактивных газов, выделяющихся из земной коры. Физическое обоснование метода «химического потенциала» и возможность его использования для дистанционного зондирования Земли из космоса обсуждались в работе [2,3]. Настоящая работа посвящена анализу целого ряда расчетов поправки химического потенциала паров воды в атмосфере по данным наблюдений метеостанций с различным удалением от эпицентра землетрясения.

Большое количество заряженных центров конденсации в атмосфере перед землетрясением обусловлено вытеснением из земной поверхности радиоактивного газа радона-222 (непрерывно образуется в некоторых горных породах, период полураспада 3.8 суток, излучает альфа-частицы с энергией 5,49 МэВ).

Абсолютная величина поправки к усредненному химическому потенциалу паров воды в атмосфере по данным метеонаблюдений, измеряемая в электронвольтах (эВ), может оцениваться по формуле [4]

$$\Delta U = 5.8 \cdot 10^{-10} \cdot (20 \cdot T_g + 5463)^2 \cdot \ln(100/H)$$

где T_g — температура воздуха измеряемая в градусах Цельсия, а H — относительная влажность измеряемая в процентах.

Была выявленная явная зависимость поправки от удаленности. Большая часть зависимостей описывается квадратичными уравнениями. Экстраполяция зависимостей к началу координат позволяет с определенной точностью оценить местоположение эпицентра землетрясения.

Для землетрясений в Белуджистане, Гаити, Италии, Перу, Чили и на острове Ява эпицентр определяется с точностью не хуже 25 км.

Таким образом, примерно в 70% рассмотренных случаев эпицентр землетрясений можно предсказать с точностью ± 30 км. Что, несомненно, явля-

ется очень обнадеживающим результатом, хотя для окончательного вывода необходима еще большая статистическая обработка данных.

Анализ влияния количества метеостанций на точность оценки координат эпицентра показал, что при построении графиков по данным только 3-х метеостанций, мы получаем достаточно большой разброс ($\pm 100\text{--}150$ км от эпицентра).

Следует отметить, что для разных местностей имеют место различные амплитуды величины поправки химического потенциала. И это обусловлено не только удаленностью от эпицентра землетрясения, но и характером местности (наличием и величиной восходящих потоков воздуха) и, как следствие, особенностями метеоусловий — наличием дождевых осадков и горизонтальных воздушных потоков. Поэтому универсальную зависимость абсолютной величины поправки химического потенциала от расстояния между точкой наблюдения и эпицентром землетрясения получить не удастся. Следовательно, требуется система непрерывного мониторинга сейсмоопасных регионов Земли и решение обратной задачи определения координат возможного эпицентра для каждого конкретного случая на основе имеющегося набора точек наблюдения (наземных метеостанций или дистанционно-го зондирования Земли из космоса в надир на базе спутников метеоролического назначения, типа «Метеор-М» [3]).

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов».

Литература

1. *Pulinets S.* Ionospheric precursors of earthquakes/ S .Pulinets, K. Boyarchuk Springer. 2004. 450 с.
2. *Боярчук К.А.* Мониторинг предвестников землетрясений из космоса на основе метода «химического потенциала»/ К.А. Боярчук, А.В. Карелин, А.В. Надольский// Международный Российско-Американский научный журнал «Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем». 2009. Т.14. №2(29). С. 84–93.
3. *Боярчук К.А.* Дистанционное зондирование предвестников землетрясений из космоса на основе метода «химического потенциала» по данным метеопараметров/ К.А. Боярчук, А.В. Карелин, А.В. Надольский// Космонавтика и ракетостроение. 2010. № 2 (59). С. 142–150.
4. *Боярчук К.А.* Базовая модель кинетики ионизированной атмосферы/ К.А. Боярчук, А.В. Карелин, Р.В. Широков М. ВНИИЭМ. 2006. 204 с.

Высота приземного слоя воздуха в Москве по данным акустического зондирования атмосферы

Н.Г.Никитина, М.А.Локощенко

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

Акустические локаторы (содары) служат надежным средством измерений профилей скорости и направления ветра в нижней тропосфере — как правило, до высот 500–1000 м [1 и др.]. В Метеорологической обсерватории МГУ, начиная с 2004 года, работает доплеровский трехкомпонентный содар «MODOS» производства фирмы МЕТЕК (Германия). Рабочая частота локатора — 2 кГц, высотный диапазон — от 40 до 500 м, пространственное разрешение — 20 м, разрешение во времени данных о ветре — 10 минут. Как известно, приземный слой воздуха характеризуется относительным постоянством направления ветра вследствие малых здесь величин силы Кориолиса по сравнению с остальными силами, действующими на воздушную частицу (трения и барического градиента). Таким образом, наиболее простым критерием определения высоты приземного слоя H является начало устойчивого поворота ветра с высотой (как правило, правого при осреднении по большим выборкам данных в среднем за месяц) в вышележащем слое Экмана. Благодаря высокому разрешению содарных данных о ветре и их высокой точности (случайная ошибка в измерениях направления ветра содаром «MODOS» не превышает 3–4° и не направленная), можно оценить высоту H на основе среднемесячных профилей направления ветра, что и явилось нашей задачей; предварительные результаты приведены в [2].

Отдельной методической проблемой стало создание алгоритма программы учета цикличности в данных о направлении ветра в автоматическом режиме. Заметим, что в отдельных случаях возможны резкие скачкообразные изменения в направлении ветра как в последовательных сериях отсчетов (с шагом во времени 10 мин.), так и на разных высотах в пределах одного и того же профиля: вплоть до 200° и даже более в пределах нижних 300 м.

Обычно случаи столь резкого поворота в направлении ветра связаны с условиями крайне маловетренной погоды, близкими к штилю — вблизи центра антициклона или в районе седловины. При этом разброс направлений ветра на соседних высотах зачастую хаотический и совершенно неупорядоченный. Другой причиной резких изменений направления ветра служат случаи нахождения Москвы вблизи атмосферного фронта или оси гребня. При этом, впрочем, сохраняется относительная упорядоченность изменений: направление ветра меняется, хотя и очень быстро, но последовательно на разных высотах.

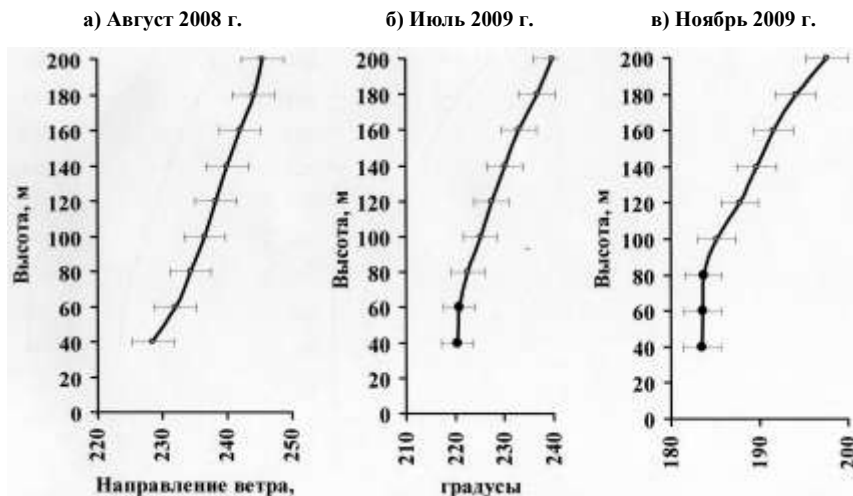


Рис. 1. Поворот ветра с высотой в среднем за отдельные месяцы по содарным данным в МГУ. Доверительные интервалы рассчитаны с уровнем значимости 0,05.

На рис. 1 приведены примеры среднемесячных профилей направления ветра. Анализ содарных данных за период 2004–2010 гг. показал, что H прослеживается поверх «мертвой зоны» в 19 случаях из 61, т.е. приблизительно в одном случае из трех в нижней части профиля имеется «вертикальный» участок с почти одинаковым значением направления. При этом H обычно составляет 60 м (рис. 1 б) и лишь изредка достигает 80 м (рис. 1 в). В остальных случаях устойчивый поворот начинается уже с самого нижнего уровня, так что $H \leq 40$ м (рис. 1 а).

Для количественной оценки изменений в направлении ветра полезно привлечь данные как о самой величине поворота ветра с высотой $\alpha = D_i - D_{i-1}$, так и о коэффициенте K его изменения в двух соседних высотных промежутках: $K = (D_{i+1} - D_i) / (D_i - D_{i-1})$, где D — направление ветра, i — высотный уровень. В случаях практически неизменного с высотой направления ветра (т.е. в пределах приземного слоя) α в среднем составляет $0,4^\circ$, а K — в среднем от 1 до 1,5 (как правило, не более 2). Выше уровня H значение α обычно $>1^\circ$ в 20-метровом слое. На уровне H значение K в большинстве случаев более 3 (в среднем — около 5).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-05-01130.

Литература

1. Красненко Н.П. Акустическое зондирование атмосферы. «Наука», Новосибирск, 1986, 168 с.
2. Lokoshchenko M.A. Wind structure of lower atmosphere above Moscow by the sodar data. In: Proceedings of the 15th ISARS, Paris, France, 2010, 4 p.

Влияние атмосферных осадков на состав приземного воздуха

И.Д.Полежаева¹, М.А.Локощенко¹, Н.Ф.Еланский²

¹ Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

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

Приземное содержание малых атмосферных газов может существенно меняться в зависимости от метеорологических условий и погодных явлений, в частности — при выпадении осадков [1 и др.]. Особенно сильными подобными изменениями могут быть в крупных городах с большим количеством источников загрязнения воздуха. На территории Метеорологической обсерватории МГУ с 2002 года работает совместная экологическая станция ИФА РАН и Географического факультета МГУ. Это — единственное в месте в столице, где в непрерывном режиме времени производятся ежеминутные высокоточные измерения основных атмосферных примесей [2].

Нашей задачей явилось статистическое исследование влияния выпадения жидко-капельных осадков в теплое время года на динамику приземного содержания малых газов — озона, окислов азота, окиси углерода и двуокиси серы. Заметим, что предметом исследования были любые возможные причины изменений в режиме загрязнения воздуха, включающие как непосредственное влажное осаждение, так и косвенное действие попутных факторов — например, связанное с началом дождя усиление вертикального перемешивания и рассеивания малых газов. Все ряды ежеминутных измерений этих веществ были нормированы на момент начала выпадения осадков. Время начала каждого дождя определялось с точностью до минуты с использованием данных наблюдений и записей станционного плювиографа. Были отдельно исследованы изменения в составе приземного воздуха в начале выпадения всех без исключения осадков в теплый период 2002 года, включая даже слабые (всего — 59 случаев), а также проведен отдельный анализ для частных выборок фронтальных и внутримассовых осадков. Тип осадков при этом тщательно выявлялся с использованием синоптических карт и станционных наблюдений. Кроме того, полученная выборка фронтальных осадков была дополнительно разделена на случаи, связанные с прохождением холодных фронтов, теплых фронтов, фронтов окклюзий и стационарных фронтов. Оказалось, однако, что при рассмотрении отдельных примеров качественный ход изменений содержания малых газов до и после начала осадков бывает разным, а в среднем по выборкам различия, как правило, статистически незначимые. Затем были отдельно исследованы только случаи сильных осадков с резко выраженным их началом (с интенсивностью не менее 0,1 мм/мин уже с первых минут) и при длительной сухой погоде непосредственно перед этим уже за трехлетний период 2002–2004 гг. (всего — 44 случая).

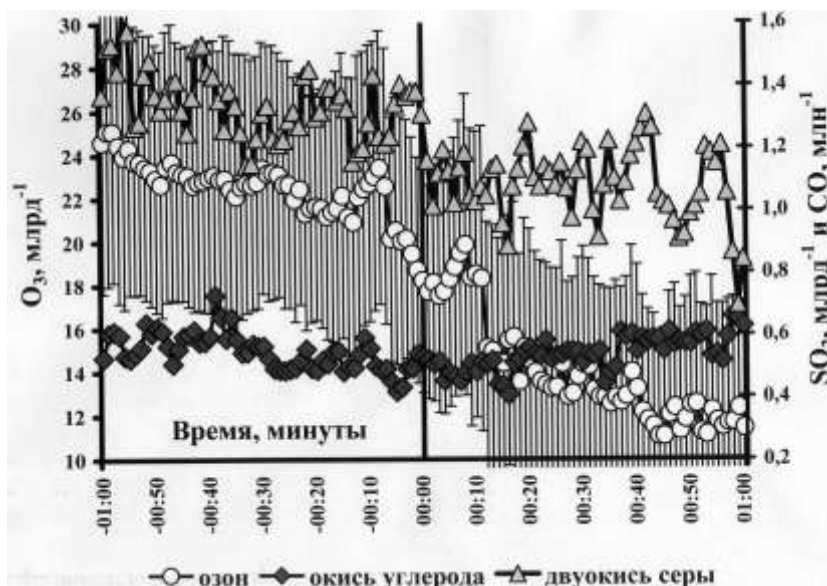


Рис. 1. Изменения приземного содержания малых атмосферных газов в среднем за каждую минуту при выпадении сильных ливней. Данные нормированы на момент начала ливня, помеченный значением ноль. Москва, МГУ, 2004 г.

Полученные результаты на примере 2004 года приведены на рис. 1. Как видно, в наибольшей степени влияние сильных ливней проявляется в уменьшении уровня приземного озона и диоксида серы. Применительно к приземному содержанию озона это вывод подтверждается его доверительными интервалами, рассчитанными с уровнем значимости 5%. Кроме того, для оценки значимости различий между математическими ожиданиями по двум выборкам длиной 40 мин на обоих краях ряда был использован критерий Стьюдента. Мы вправе его применить, поскольку выборочные распределения довольно близки к нормальному закону. Как оказалось, различия в содержании O_3 и SO_2 до и после начала ливня статистически значимые с очень высокой доверительной вероятностью (более 0,999). Напротив, содержание CO при выпадении даже сильных ливней существенно не меняется — очевидно, вследствие очень малой его растворимости [1 и др.].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-05-01130.

Литература

1. П.Бримблхэм Состав и химия атмосферы .М.: Мир, 1988, 352 с.
2. Н.Ф.Еланский, М.А.Локощенко, И.Б.Беликов, А.И.Скорород, Р.А.Шумский. Изменчивость газовых примесей в приземном слое атмосферы Москвы, Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2007, том 43, № 2, стр.246–259.

О влиянии ветра на состояние горизонтальной свободной поверхности жидкости

О.В.Посудников, Д.Ф.Белоножко

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

Хорошо известно, что движение воздуха (ветер) над горизонтальной свободной поверхностью жидкости является причиной возникновения волнового движения, как результата развития неустойчивости Кельвина Гельмгольца. Обычно полагается, что возникающие при этом бегущие волны переносят энергию, но не переносят вещество. На самом деле с распространением бегущих волн связан медленный — второго порядка малости по амплитуде волны — дрейф жидкости. Это явление хорошо изучено в рамках модели идеальной жидкости и известно под названием дрейф Стокса.

В настоящей работе была построена модель дрейфового движения вязкой жидкости связанного с распространением бегущих волн, инициированных ветровой нагрузкой. Для этого во втором приближении по амплитуде волны рассчитывалось поле скоростей в вязкой жидкости, граничащей с верхней менее плотной идеальной жидкостью, движущейся горизонтально с заданной скоростью. Считалось, что на границе раздела возникает капиллярно-гравитационная волна. В результате перехода к переменным Лагранжа было построено выражение для скорости индивидуальной жидкой частички и выделена дрейфовая компонента этой скорости [1].

Оказалось, что исследуемый дрейф содержит две составляющие: модифицированный дрейф Стокса, который в пределе малой вязкости вырождается в классический дрейф Стокса и добавочный дрейф, связанный с действием горизонтальных вязких напряжений, который в пределе малой вязкости исчезает. Выяснилось, что ветровая нагрузка сильнее влияет на скорость именно добавочного дрейфа, который сосредоточен вблизи границы раздела и скорость которого существенно зависит от условий на границе раздела. Поведение модифицированного дрейфа Стокса существенно отличается от классического дрейфа Стокса в области вязкого приповерхностного пограничного слоя. Непосредственно под пограничным слоем его скорость достигает максимального значения, а при приближении к свободной поверхности резко уменьшается до нуля. Таким образом, перенос вещества, распределенного именно по границе раздела (например, масляных и нефтяных пятен), за счет вызываемого ветром волнения поверхности водоемов обусловлен не явлением дрейфа Стокса, а более сложным явлением добавочного течения, которое имеет совсем другой принцип расчета. Обе компоненты дрейфа немонотонно зависят от скорости верхней среды.

Литература

1. Белоножко Д.Ф., Козин А.В. //ЖТФ. 2010. Т.80. Вып.4. С.32–40.

Трансформации галогенсодержащих уксусных кислот в окружающей среде

Е.С.Савельева, Е.С.Васильев, И.И.Морозов

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

Передвижной обсерваторией TROICA-6 Института физики атмосферы РАН зарегистрировано в Калмыкии существенное превышение концентрации трихлоруксусной кислоты (ТХК) по сравнению с другими территориями России. Трихлоруксусная кислота (ТХК) является чрезвычайно активным химическим соединением, негативно воздействующим на природную среду. Среди других потенциальных загрязнителей рассматривается трифторуксусная кислота (ТФК), которая является очень сильной кислотой. Она распространена по всей поверхности Земли, находясь преимущественно в водной среде. На данный момент известно шесть фторорганических соединений, являющихся антропогенными источниками трифторуксусной кислоты. Они относятся к гидрохлорфторуглеродам (ГХФУ) и гидрофторуглеродам (ГФУ). Гидрохлорфторуглероды и гидрофторуглероды были внедрены в промышленность в качестве заменителей хлорфторуглеродов, как вещества, обладающие меньшей озоноразрушающей способностью. Глобальная концентрация ТФК по планете на 2010 год в осадках составляет 0,1–0,16 мг/м³ [1]. А вклад от ГХФУ и ГФУ составляет 0,005 мг/м³ [1]. Остальные источники ТФК на данный момент не известны.

ТФК в биосфере. Она практически не адсорбируется на большинстве видах почв, за исключением почвы, насыщенной органикой, вблизи заболоченных мест. ТФК устойчива в водной фазе, не вступает в гидролиз, не подвергается фотолизу, не образует нерастворимых солей. Отмечено что она деградирует в анаэробных условиях [1].

Биоаккумуляция в животных и растениях. ТФК практически не накапливается в организме животных. Из-за высокой растворимости она накапливается в растениях (в листьях, поступая с водой через корни), при этом практически не вступает в химические реакции и не распадается. *Влияние ТФК на активный ил.* ТФК, добавленная в активный ил, не производит никаких заметных изменений в образовании шлама, для биodeградации органических веществ. *Токсичность ТФК для млекопитающих.* ТФК не метаболизируется в млекопитающих. Полураспад ТФК в организме составляет 16 часов. ТФК более токсична, чем ее соль натрия. Для человека порог чувствительности по ТФК составляет 54 ppm. ЛК₅₀ для мышей составляет 13,5 мг/л (2900 г/т) и для крыс — 10 мг/л (2140 г/т) [1]. На основании этих данных можно охарактеризовать ТФК как кислоту, имеющую низкую токсичность. Оценка риска. Tang и др. [1] посчитали примерную глобальную концентрацию ТФК в дождевой воде, ожидаемую к 2020 году, принимая во

внимания различные условия разных территорий (концентрация радикалов ОН в атмосфере, количество осадков, региональные выбросы ТФК). Средняя концентрация ТФК в дождевой воде к 2020 году предположительно будет составлять 0,1 мкг/л [1]. Важным остается вопрос о неизвестных источниках больших концентраций ТФК.

ТФК не накапливается в организмах животных и млекопитающих. Накапливается в листьях растений, но не вступает в химические реакции в них и, попадая в организм травоядных, практически не оказывает воздействия. ТФК не накапливается в почве, за исключением органических почв. Находясь в основном в водной среде, ТФК не оказывает воздействия на рыб (при концентрациях ниже 1 г/л). Водоросли более подвержены накоплению ТФК, поэтому ВДК для воды составило 0,1 мг/л [1]. По различным исследованиям ВДК для почвы составила 0,1 мг/л [1]. Весьма важно установить процессы ее деградации в тропосфере. Поэтому была изучена реакция ТФК с одним из активных реагентов атомарным фтором, которая весьма важна в процессе пиролиза фторполимеров.

В данной работе использовался метод конкурирующих реакций, применялся проточный реактор низкого давления, в качестве детектора использовался квадрупольный масс-спектрометр с напуском реагирующей смеси в виде молекулярного пучка. Проведено изучение реакции ТФК с атомарным фтором в диапазоне температур 258–343 К. Получена величина константы скорости реакции равная

$$K = 7,2 \times 10^{-13} \exp[(9,6 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1})/RT] \text{ см}^3\cdot\text{молекул}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}.$$

На основе литературных данных оценено время жизни трифторуксусной кислоты в атмосфере. Оно оказалось близко к одной неделе.

Литература

1. *Tang X., Madronich S., Wallington T., Calamari D.* Changes in tropospheric composition and air quality // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology.* 1998. № 46. P. 83–95.

Экспериментальное исследование континуального поглощения в смеси водяного пара с азотом в миллиметровом диапазоне длин волн

Е.А.Серов, М.А.Кошелев, В.В.Паршин, М.Ю.Третьяков

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Исследование поглощающих свойств атмосферных газов необходимо для построения моделей поглощения, используемых при глобальном мониторинге земной атмосферы и подстилающей поверхности. Точность лабораторных измерений спектральных параметров атмосферных газов напрямую влияет на точность создаваемых моделей атмосферного поглощения. Континуальное поглощение водяного пара в окнах прозрачности атмосферы до сих пор остается не достаточно изученным, что объясняется малостью этого поглощения по сравнению с резонансным, а также наличием разного рода систематических ошибок во «влажных» экспериментах.

Для исследования атмосферного поглощения в широком диапазоне частот (45–370 ГГц) и температур (от –30 до +60 °С) в ИПФ РАН используется резонаторный спектрометр [1,2], в котором реализован метод вариации дальности без механической перестройки длины резонатора. Применение этого метода позволяет устранить систематическую ошибку измерения, обусловленную осаждением влаги на элементах квазиоптического резонатора.

В докладе представлены результаты исследования температурной зависимости параметров континуального поглощения в смеси водяного пара с азотом в диапазоне частот 107–143 ГГц. Измерения континуума были проведены в достаточно широком температурном диапазоне: от –12 до +55 °С. При этом впервые была охвачена значительная область температур реальной атмосферы ниже +20 °С. Произведено сравнение полученных результатов с предыдущими работами.

Литература

1. A.F. Krupnov, M.Yu. Tretyakov, V.V. Parshin, V.N. Shanin, S.E. Myasnikova, Modern Millimeterwave Resonator Spectroscopy of Broad Lines // J. Molec. Spectrosc, 2000. V. 202, N. 1. P. 107–115.
2. M.Yu. Tretyakov, A.F. Krupnov, M.A. Koshelev, D.S. Makarov, E.A. Serov, and V.V. Parshin, Resonator spectrometer for precise broadband investigations of atmospheric absorption in discrete lines and water vapor related continuum in millimeter wave range // Review of Scientific Instruments, 2009. V. 80, N. 9. P. 093106-1–093106-10.

Оптимизационный метод восстановления значений общего содержания озона по спектральной плотности энергетической освещенности поверхности Земли солнечным ультрафиолетовым излучением

В.Ю.Станкевич

Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы, Минск

Одной из наиболее актуальных задач современной прикладной атмосферной оптики является получение значений содержания малых составляющих атмосферы, в частности, общего содержания атмосферного озона (ОСО), наземными спектрометрическими приборами. Высокая важность подобных измерений обусловлена, в первую очередь, той ролью, которую озон играет в тепловом балансе атмосферы и регуляции уровня «жесткого» ультрафиолетового излучения у поверхности Земли [1]. Построение непрерывных рядов измерений ОСО в условиях белорусского климата с помощью наиболее распространенных методов измерения по прямому солнцу практически неосуществимо по причине значительного числа облачных дней в году. Поэтому для решения данной задачи целесообразно использовать метод восстановления значений ОСО по анализу спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) земной поверхности в УФ диапазоне [2]. В НИИЦ МО БГУ успешно используется метод восстановления ОСО по СПЭО УФ излучения, измеренной прибором ПИОН-УФ.

В настоящее время расчет значений ОСО по интенсивности суммарного излучения у земной поверхности производится с помощью так называемых таблиц Стамнеса, выражающих эмпирические зависимости значений ОСО от отношений интенсивностей различных длин волн излучения и зенитных углов. Данный метод, согласно различным оценкам, позволяет получать значения ОСО с точностью до 5% при благоприятных условиях наблюдения, однако при отсутствии таких условий, когда этот метод наиболее востребован, точность существенно снижается [3].

Одной из причин сравнительно низкой точности значений ОСО, получаемых по методу Стамнеса, является невозможность учета в таблицах Стамнеса значений атмосферных параметров, актуальных на момент измерения. Поскольку таблицы рассчитываются априорно, они строятся на основании усредненных значений, что является источником погрешности. [4] Отказ от таблиц Стамнеса и учет мгновенных значений атмосферных параметров дадут возможность повысить точность значений ОСО, получаемых по СПЭО поверхности Земли в УФ диапазоне [2]. Это становится возможным при использовании оптимизационных методов расчета.

Предложенный оптимизационный метод основан на нахождении минимума следующей функции:

$$F(X, \alpha, \beta) = [R_{\text{расч}}(\lambda_1, \lambda_2, X, \alpha, \beta) - R_{\text{набл}}(\lambda_1, \lambda_2, X, \alpha, \beta)]^2,$$

где X — искомое ОСО; α и β — коэффициенты в формуле Ангстрема, характеризующие атмосферные аэрозоли; $R_{\text{расч}}$ — рассчитанное с помощью модели атмосферы отношение СПЭО для длин волн λ_1 и λ_2 ; $R_{\text{набл}}$ — полученное в результате наблюдений отношение СПЭО для тех же длин волн.

Минимум функции совпадает с реальными значениями ОСО и коэффициентов в формуле Ангстрема. Для его нахождения используется оптимизационный алгоритм Хука-Дживса. В перспективе возможно определение большего числа наблюдаемых параметров (оптической толщины облачности, аэрозольного фактора асимметрии, и т.д.), а также применение метода для других компонент атмосферы с меньшими коэффициентами экстинкции. Расчетные значения СПЭО получаются с помощью модели плоской атмосферы, стандартной для библиотеки LibRadTran.

Данная работа призвана оценить в целом возможности предложенного подхода. Показано, что полученные с помощью данного метода результаты обладают устойчивостью в течение дня и хорошо согласуются со спутниковыми данными, хотя источники погрешностей и предельные возможности метода нуждаются в дальнейшем изучении.

Автор приносит благодарность за содействие своему научному руководителю А.Н.Красовскому, а также сотрудникам ННИЦ МО БГУ А.Г.Светашеву и Л.Н.Турышеву.

Литература

1. *Гуцин В.П., Виноградова Н.Н.* Суммарный озон в атмосфере. Л.: Гидрометеозидат, 1983, 241 с.
2. *Светашев А.Г., Атрашевский Ю.И., Красовский А.Н., Станкевич В.Ю.* Предварительные результаты восстановления ОСО по результатам наземных измерений спектрального распределения освещенности УФ составляющей солнечной радиации. // Сахаровские чтения 2009: Экологические проблемы XXI века. Материалы 9-ой Международной научной конференции, Минск, 21–22 мая 2009 г., с. 305.
3. *Stamnes K. et al.*, Derivation of total ozone abundance and cloud effects from spectral irradiance measurements. // *Applied Optics*, 1991, Vol. 30, No. 30, p. 1–15.
4. *Kylling A., Mayer B.*, Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations — description and examples of use // *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1855–1877, 2005.

Определение содержания оксида углерода спектроскопическим методом в воздушном бассейне г. Москвы

Е.Н.Старикова^{1,2}, В.С.Ракитин², Е.В.Фокеева²

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева, Москва

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

Представлены результаты спектроскопических измерений общего содержания окиси углерода (СО) в Москве и в Звенигороде по спектрам поглощения солнечного излучения в ИК-диапазоне (4,67 мкм). Использовались два идентичных дифракционных спектрометра среднего разрешения с системой слежения за солнцем.

Содержание СО над городом варьирует от значений близких к фоновому содержанию, до значений, в 2,5–3 раза его превышающих. Наиболее высокие содержания СО наблюдаются во время продолжительных антициклональных ситуаций, способствующих накоплению СО городского происхождения в приземном слое. Значения содержания, в два и более раз превышающие фоновые, довольно редки.

В 2005–2007 гг. уменьшилась частота повторяемости высоких значений городской части содержания по сравнению с периодами 1993–2001 гг. и 2003–2005 гг. Установлено уменьшение среднегодовых значений содержания со скоростью 0,2% в год в период 1972–2009 гг. для Звенигорода. Для Москвы городская часть содержания в период 1986–2009 гг. уменьшалась со скоростью ~ 1% в год, несмотря на более чем пятикратное увеличение количества автомобилей в Москве. Следует отметить, что на эту оценку повлияли низкие среднегодовые значения содержания в период с 2006–2009 гг.

Пожары и продолжительная антициклональная ситуация привели к аномально высоким приземным концентрациям окиси углерода в Москве и Подмосковье в период июль–август 2010 г. она достигала 16 ppm в Москве и 12 ppm в Звенигороде. Одинаковые значения загрязнений в Москве и на Звенигородской научной станции говорит о том, что основной вклад в загрязнения атмосферы в этот период внесли эмиссии от пожаров. Относительный вклад автотранспорта и промышленности в этот период был несопоставимо меньшим.

Предельные значения приземного содержания малых атмосферных газов в Москве и условия их наблюдений

А.В.Трифанова¹, М.А.Локощенко², Н.Ф.Еланский³

¹ Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Дубна

² Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

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

При исследованиях закономерностей многолетних изменений состава воздуха отдельный интерес представляет анализ предельно больших и предельно малых значений содержания тех или иных атмосферных примесей, а также метеорологических условий их наблюдений. Начиная с 2002 года, в юго-западной части Москвы (в Метеорологической обсерватории МГУ) работает совместная Экологическая станция ИФА РАН и Географического факультета МГУ. Здесь производятся высокоточные ежеминутные измерения приземного содержания разных малых газов в непрерывном режиме.

В результате анализа накопленных за 9 лет данных получено, что самое наибольшее в среднем за час приземное содержание озона составило в Москве 134,2 млрд⁻¹ днем 06 августа 2010 г., тогда как предыдущий рекорд составлял 129,5 млрд⁻¹ 30 июля 2002 г. [1]. В обоих случаях столь высокие значения, вероятно, обусловлены дополнительными источниками образования озона в условиях сильной дымной мглы вследствие торфяных пожаров при аномально жаркой погоде.

С условиями дымной мглы, по-видимому, связано также значение максимума-максимума содержания двуокиси азота (214,7 млрд⁻¹), отмеченного на следующий день после рекордно высокого уровня приземного озона — 07 августа 2010 г.

Наибольшее среднечасовое значение окиси азота составило 593,5 млрд⁻¹ в 8 ч 29 марта 2007 г. Неудивительно, что время наблюдения данного рекорда пришлось на утренний час пик, когда интенсивность выбросов NO наибольшая. Максимум-максимум приземного содержания окиси углерода составил 27,0 млн⁻¹ в 16 ч 13 июля 2003 г. Наконец, самое наибольшее значение содержания двуокиси серы достигло 141,6 млрд⁻¹ в 10 ч 16 февраля 2006 года. Этот рекорд был связан с приподнятой инверсией и слабым ветром в этот день по содарным данным [1], а также с частым использованием резервного топлива (мазута) во время исключительно морозной зимы 2006 года.

Что касается предельно малых значений, близких к нулю, то для озона и окиси азота они отмечаются сравнительно часто. Всего за период с февраля 2002 до октября 2010 г. было отмечено 1234 часа измерений O₃ и 2464 часа измерений NO ниже порога обнаружения этих примесей стандартными газоанализаторами. Таким образом, повторяемость предельно малых значений

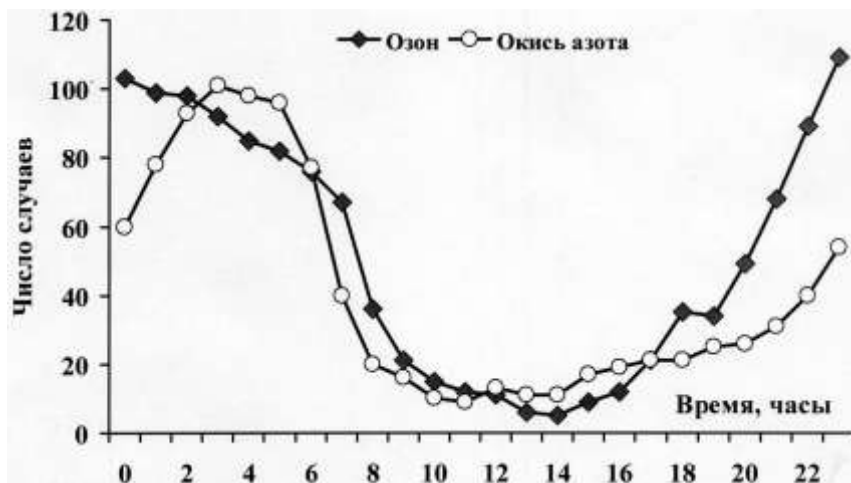


Рис. 1. Суточный ход предельно малых значений приземного содержания O_3 и NO в среднем за час в Москве за период 2002–2010 гг.

озона и окиси азота составляет соответственно около 2 и 4% в общей выборке всех измерений.

Как видно на рис. 1, суточный ход предельно малых (< 1 млрд⁻¹) значений O_3 и NO представляет собой близкую к синусоиде функцию. Наиболее часто близкие к нулю значения приземного озона наблюдаются в начале ночи. Затем повторяемость их уменьшается, особенно быстро — с 7 до 9 ч утра вследствие, вероятно, разрушения приземной инверсии, а также начала фотохимического образования озона. Реже всего содержание приземного озона менее 1 млрд⁻¹ отмечается в середине дня, что вполне естественно с учетом основного дневного максимума в суточном ходе этой примеси в теплое и переходное время года. В 13 и 14 ч повторяемость близких к нулю уровней приземного озона на целый порядок меньше (около 0,002), нежели в среднем за сутки. Предельно малое содержание NO также отмечается чаще в темное время суток, однако максимум повторяемости значений менее 1 млрд⁻¹ смещен по сравнению с озоном на середину ночи (когда интенсивность автомобильного движения наименьшая), а минимум более протяженный во времени, что отражает высокую интенсивность автомобильного движения как в утренние, так и в дневные часы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-05-01130.

Литература

1. М.А.Локощенко, Н.Ф.Еланский, В.П.Маляшова, А.В.Трифанова Динамика приземного содержания двуокиси серы в Москве. Томск, Оптика атмосферы и океана, 2008, № 5, с. 441–449.

Исследование сезонных различий качества городского воздуха в условиях антициклона с помощью мобильной станции в г. Томске

*Н.В.Ужегова, Б.Д.Белан, П.Н.Антохин, Е.В.Жидовкин, Г.А.Ивлев,
А.В.Козлов, А.В.Фофонов*

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

С помощью мобильной станции [1,2] были произведены маршрутные исследования качества городского воздуха днем в теплый период года (14.05.2009), в холодный период (26.01.2010) и в переходный период (09.04.2010), когда температура воздуха колебалась около 0°C. Целью работы является оценка сезонных различий термодинамического режима, газового и аэрозольного состава атмосферы города (на примере г. Томска). Для чистоты эксперимента погода для исследований выбиралась одинаковая: стоял антициклон, было ясно, слабый ветер, без погодных явлений.

По результатам исследований выяснилось, что «остров тепла» (ОТ) наблюдается в Томске днем во все сезоны. Зимой ОТ наиболее масштабный, изотермы четко описывают границы городской застройки. Весной ОТ имеет самый большой горизонтальный градиент температуры (7°C). Летом ОТ выражен слабее всего, изотермы описывают только самый центр города.

Во все сезоны в Томске обнаружен дополнительный источник влаги. Такая особенность связана с подстилающей поверхностью города (летом), а также добавлением антропогенного водяного пара от сгорания топлива в автомобильных двигателях (во все сезоны).

С помощью мобильной станции удалось выделить наиболее загрязненные районы города угарным газом и оксидами азота. Сложная экологическая ситуация сохраняется в этих районах во все сезоны года.

Необходимо наращивать статистику подобных исследований, а также внедрять данный метод в методологию по контролю качества воздуха, т.к. в дополнение к имеющимся мерам, это позволит получить полную и правдоподобную картину загрязнений.

Литература

1. *Аршинов, М.Ю.* Мобильная станция АКВ-2 и ее применение на примере г. Томска / М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, Д.К. Давыдов, Г.А. Ивлев, А.В. Козлов, Д.А. Пестунов, Е.В. Покровский, Д.В. Симоненков, Н.В. Ужегова, А.В. Фофонов // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 8. С. 643–648.
2. *Белан Б.Д.* Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири / Б.Д. Белан, Г.А. Ивлев, А.С. Козлов, И.И. Маринайте, В.В. Пененко, Е.В. Покровский, Д.В. Симоненков, А.В. Фофонов, Т.В. Ходжер // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 5. С. 428–437.

Исследование гетерогенной гибели озона на материалах твёрдого атмосферного аэрозоля и элементах подстилающей поверхности методом полупроводниковых сенсоров

Т.Б.Цыркина, К.В.Жерников, И.П.Сухарева, Л.А.Обвинцева, А.К.Аветисов
Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я.Карпова, Москва

Исследование взаимодействия озона с веществами, присутствующими в атмосферном воздухе в виде аэрозолей, является актуальной задачей химии атмосферы. Методика исследования характеристик гетерогенной гибели озона с использованием полупроводниковых сенсоров была разработана на примере изучения взаимодействия HCl и O_3 с микроволокнистыми полимерными фильтрующими материалами [1,2].

В данной работе исследовано взаимодействие озона (ppb-уровень) с порошками оксидов металлов (Fe_2O_3 , ZnO , In_2O_3), входящих в состав атмосферного аэрозоля, и с материалами подстилающей поверхности (песок, почва). В качестве носителя твердых дисперсных материалов использовали инертные к озону микроволокнистые фильтры из фторопласта ФПФ-42-10-3.0, предварительно обработанные озоном. Сделаны оценки гетерогенных констант и коэффициентов прилипания озона на исследованных материалах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 09-03-00934-а.

Литература

1. *Л.А.Обвинцева, К.В.Жерников, И.П.Сухарева, А.Д.Шепелев, М.П.Дмитриева, А.И.Климук, А.К.Аветисов.* Взаимодействие озона при низких концентрациях с микроволокнистыми полимерными фильтрами. Журнал Прикладной Химии, 2010. Т. 83. В. 9. с. 1545–1551.
2. *К.В.Жерников, Т.Б.Цыркина, Л.А.Обвинцева, И.П.Сухарева, М.П.Дмитриева, А.К.Аветисов.* Изучение гибели химически активных газов при низких концентрациях на различных материалах методом полупроводниковых сенсоров. 2010. Труды XIV Всероссийской школы-конференции молодых ученых МАПАТЭ. С.77–80.

Вариации газовых примесей атмосферы по данным автоматизированной информационно- измерительной системы

И.Б.Беликов, Н.Ф.Еланский, Р.А.Шумский

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

Автоматизированная информационно-измерительная система (ИИС) для наблюдений состава приземного воздуха включает в себя следующий набор измерительных средств: газоанализаторы для непрерывного мониторинга концентраций O_3 , NO , NO_2 , CO , CO_2 , CH_4 , $NMHC$, SO_2 , NH_3 и радона, измерители концентрации атмосферного аэрозоля $PM_{2,5}$ и распределения аэрозольных частиц по размерам, протонный масс-спектрометр для наблюдений концентраций более 20 различных летучих органических соединений, измеритель вертикальных профилей температуры, датчики солнечной радиации и метеорологических параметров. Для данной ИИС разработаны и практически реализованы методы объединения различных измерительных средств в единое целое. Разработаны также алгоритмы автоматизированной первичной обработки результатов наблюдений для исключения недостоверных данных и артефактов.

Данная ИИС применяется для наблюдений газового и аэрозольного состава приземного воздуха на стационарной обсерватории в г. Москве, а также на подвижной обсерватории на базе железнодорожного вагона.

По данным 9-летних (2002–2011 гг.) рядов стационарных наблюдений концентраций основных климатически и химически активных газовых примесей атмосферы вычислены их основные статистические характеристики. Систематизированы сведения о сезонно-суточной изменчивости этих примесей, проанализированы распределения повторяемости их концентраций в теплый и холодный сезоны, а также в дневное и ночное время. Проанализированы возможные тренды концентраций за весь период наблюдений. Получены аналитические выражения для связи среднесуточных концентраций примесей с метеорологическими параметрами и характеристиками приземных инверсий.

ИИС, адаптированная для использования на железнодорожном вагоне, позволяет в реальном масштабе времени отображать оператору наблюдений все измеряемые параметры, а также сведения о текущем техническом состоянии измерительных средств и оборудования вагона. Одним из значимых результатов наблюдений на железнодорожном вагоне является исследование шлейфов загрязнения воздуха от г. Москвы.

**Исследование динамики
фотохимических и радиационных
атмосферных процессов.**

Оптимальное моделирование сложных систем: стохастический подход к анализу данных

Д.Н. Мухин

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Излагается подход к моделированию сложных систем по временным рядам, основанный на построении стохастических моделей оптимальной сложности. Проблема выбора оптимальной модели рассматривается в рамках двух различных парадигм — информационной и байесовой. Делается краткий обзор широко применяемых критериев оптимальности моделей. Формулируется подход к построению стохастических динамических моделей достаточной сложности по временным рядам, порожденным высоко-размерной и/или стохастической системой (под сложностью понимается размерность пространства состояний модели, а также количество ее параметров). Оператор эволюции в рамках данного подхода реконструируется в форме случайной функции; предлагается универсальная параметризация данной функции. На модельных примерах показано, что неоднородность (по фазовому пространству) стохастической составляющей модели играет, вообще говоря, принципиальную роль при реконструкции.

О применение байесова подхода для восстановления высотного профиля концентрации водяного пара по данным радиометрических измерений в микроволновом диапазоне с борта самолета

М.В.Беликович, Д.Н.Мухин, А.М.Фейгин

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Водяной пар имеет большое значение для нашего климата. Он играет ключевую роль в радиационном балансе земли и вносит наибольший вклад в парниковый эффект, обеспечивая сильное поглощение солнечного излучения в тропосфере. В стратосфере водяной пар инициирует цикл химических реакций, ответственный за процесс истощения озонового слоя. Кроме того, будучи долгоживущей и изменчивой составляющей атмосферы, водяной пар обеспечивает возможность исследования атмосферных процессов переноса.

Одним из методов измерения вертикальных профилей концентраций малых газовых составляющих является пассивное радиозондирование в резонансных линиях их собственного излучения, лежащих в микроволновом диапазоне длин волн. Спектр линии собственного излучения газовой составляющей, измеряемый на некоторой высоте, определяется, прежде всего, распределением параметров вышележащего слоя атмосферы, оптическая толщина которого на соответствующей частоте составляет величину порядка единицы. Именно в пределах такого слоя возможно восстановление вертикального профиля концентрации малой составляющей. В случае водяного пара для наземных измерений толщина такого слоя составляет для всех резонансных линий излучения водяного пара миллиметрового диапазона величину не более одного-двух километров. Это делает невозможным определять профиль концентрации H_2O с помощью микроволнового наземного зондирования в верхней тропосфере и стратосфере (ВТС).

В данном докладе анализируется возможность применения спектрометрических, регистрирующих спектр собственного излучения атмосферы в короткой части миллиметрового диапазона длин волн, для пассивного зондирования водяного пара в области ВТС с борта самолета.

Восстановление профиля водяного пара по принятому спектру излучения является некорректной обратной задачей, поскольку включает в себя решение интегрального уравнения. В докладе представлен байесов метод решения данной задачи, использующий различные параметризации искомого профиля. В частности, проведено сравнение традиционно используемой кусочно-линейной аппроксимации профиля с аппроксимацией функцией в виде искусственной нейронной сети (использование последней хорошо зарекомендовало себя в восстановлении высотного распределения озона [1]).

Для данных параметризаций предложен алгоритм регуляризации решения, основанный на построении функций априорных плотностей вероятности параметров.

Анализируются результаты восстановления по модельным спектрам линии излучения водяного пара с резонансной частотой 183,31 ГГц. Данные спектры были вычислены с помощью модели Либэ (модель переноса солнечной радиации в атмосфере) по профилям водяного пара, измеренным спутником HALOE. Исследуется влияние способов регуляризации на результаты восстановления. Обсуждаются требования к бортовому спектрометриру, необходимые для восстановления профиля водяного пара в области ВТС с требуемой точностью.

Литература

1. *Mukhin D.N.* Bayesian approach to retrieval of vertical ozone profile from radiometry data / D.N. Mukhin, A.M. Feigin, Ya.I. Molkov, E.V. Suvorov // *Advances in Space Research* 2006. V. 37, P. 2292–2298.

Совместные измерения профилей температуры и концентрации озона в атмосфере методом пассивного радиометрического зондирования с поверхности Земли

*Д.А.Караитин, А.А.Швецов, Л.И.Федосеев, М.Ю.Куликов,
О.С.Большаков, А.А.Красильников, В.Г.Рыскин, Л.М.Кукин,
Д.Н.Мухин, Н.К.Скалыга, А.М.Фейгин (ИПФ РАН)*
Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Измерения профилей концентраций различных химических составляющих в атмосфере методами дистанционного пассивного зондирования с поверхности Земли позволяют вести непрерывный мониторинг состава атмосферы вне зависимости от наличия ярких радиоисточников на небе в труднодоступных для зондов интервалах высот. Кроме того, проведение таких измерений является более дешевым относительно зондовых. В ИПФ РАН был создан комплекс для измерения профиля концентрации озона в атмосфере по спектру собственного излучения молекул озона в линии поглощения с центром на частоте примерно 110 ГГц.

Для проведения таких измерений требуется информация о высотном профиле температуры атмосферы. Данные о высотном распределении температуры атмосферы в настоящее время получают почти исключительно дистанционными методами, основным из которых является радиометрическое зондирование со спутников в линиях спин-вращательных переходов атмосферного кислорода, образующих так называемую полосу поглощения, центрированную к длине волны 5 мм. Такие измерения позволяют восстанавливать профиль температуры в очень широком диапазоне высот — от приземного слоя до мезосферы. Однако они не обеспечивают непрерывное получение данных над областью с поперечным размером 10–100 км, необходимое для измерения профилей малых газовых составляющих, которое могут обеспечить наземные измерения. За последние годы в ИПФ РАН был разработан метод, позволяющий восстановить высотный профиль температуры средней атмосферы по результатам наземного наблюдения излучения в линиях на склоне полосы поглощения и создан комплекс для такого зондирования.

Была проведена серия круглосуточных совместных измерений профилей температуры атмосферы и концентрации озона. В данной работе представлены результаты совместного восстановления профилей по данным измерений в сравнении с результатами, полученными с использованием спутниковых данных о профиле температуры атмосферы.

Микроволновые измерения изменчивости озона во время частного солнечного затмения

А.А.Кузнецов^{1,2}, Ю.Ю.Куликов¹

¹ Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

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

4 января 2011 г. состоится частное солнечное затмение в Европе и западной части России. В Нижнем Новгороде (56°N, 44°E), в Институте прикладной физики РАН планируются микроволновые наземные измерения стратосферного озона. Затмение в Нижнем Новгороде произойдет в дневное время суток — начало в 10:47, конец в 13:37. Максимальная фаза затмения составит 0,789.

Измерения содержания озона в средней атмосфере выполняется с помощью портативного микроволнового озонметра [1]. Прибор состоит из гетеродинного приемника (рабочая частота 110,8 ГГц) и многоканального анализатора спектра. Параметры радиометрического приемника позволяют получать информацию с временным разрешением 15 минут о вертикальном распределении озона на высотах от 22 до 60 км.

Целью предстоящих исследований является наблюдение изменчивости содержания озона в верхней стратосфере и нижней мезосфере при изменениях потока солнечного излучения [2]. На современном этапе исследований атмосферы остаются неясными причины существенных вариаций концентрации озона в нижней и средней стратосфере во время затмений. Возможно, на изменения содержания озона оказывают влияние динамические процессы, влияющие на атмосферную циркуляцию [3].

В результате обработки спектров излучения озона средней атмосферы будут получены его вертикальные профили и сделаны выводы об их отклике на солнечное затмение.

Литература

1. Красильников, А.А., Микроволновые приемники для диагностики малых газовых составляющих земной атмосферы / Ю.Ю. Куликов, В.Г. Рыскин, А.М. Щитов // Известия РАН. Сер. физическая. 2003. Т. 67. № 12. С. 1788–1792.
2. Куликов Ю.Ю., Вариации концентрации мезосферного озона во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года по данным микроволновой радиометрии / А.А. Красильников, В.М. Дёмкин, В.Г. Рыскин // Известия РАН, Физика атмосферы и океана. 2008, Т. 44, № 4, С. 522–526.
3. Chakrabarty D.K., Fluctuation in ozone column over Ahmedabad during the solar eclipse of 24 October 1995 / N.C. Shan, K.V. Pandya// Geophys. Res. Lett. 1997. V.24. № 23. P. 3001–3003.

Динамическая модель межгодовой изменчивости концентрации озона полярной нижнестратосферной фотохимической системы

Е.М.Лоскутов, М.Ю.Куликов, Д.Н.Мухин, А.М.Фейгин

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Одним из перспективных направлений построения прогноза эволюции сложных природных систем является построение модели оператора эволюции в форме случайной динамической системы. Такие модели максимально эффективным образом учитывают наиболее значимые динамические свойства реконструируемой системы, определяющие наблюдаемое поведение. Детерминированная составляющая таких моделей имеет минимально необходимую размерность с точки зрения описания наблюдаемого процесса, что оптимизирует численные затраты. Стохастическая составляющая, в свою очередь, описывает всю совокупность процессов, не учтенных в детерминированной части, в том числе случайное внешнее воздействие на исследуемую систему.

Сравнительно недавно было показано, что как особенности возникновения озонных дыр, так и их дальнейшая эволюция существенно связана с бифуркациями полярной нижнестратосферной фотохимической системы (ФХС). Было также продемонстрировано, что как «набор» возможных бифуркаций, так и их влияние на количественные характеристики состояния озонового слоя над Антарктидой определяются гетерогенными химическими процессами и зависят от нескольких управляющих параметров (в первую очередь от концентрации неорганического хлора в нижней стратосфере), изменявшихся в течение последних десятилетий. В то время, как внутригодовой цикл эволюции озонового слоя в полярных широтах был изучен достаточно полно, низкоразмерной («грубой») динамической модели межгодовой изменчивости озонового слоя, нечувствительной к ожидаемым вариациям трендов управляющих параметров и, в силу этого, способной предсказывать качественные перемены в поведении озонового слоя в отдаленном будущем (на временах порядка 10 лет и более), к настоящему времени не создано. В представляемом к рассмотрению исследовании стохастический подход к построению динамических моделей будет использован для построения долгосрочного прогноза эволюции озонового слоя в полярных широтах по данным измерений (временным рядам) концентрации озона, проведенным начиная со второй половины 20-го века по настоящее время.

**Эффекты в магнитосфере вызванные экспериментами
по возбуждению ионосферы высокочастотным излучением
в высокоширотной ионосфере проведенному в г. Тромсе
16.02.2003. Спутниковые наблюдения**

А.Л.Маулини

Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург

В работе приведены результаты анализа эксперимента EISCAT по искусственному возбуждению ионосферы проведенному на нагревном стенде расположенном в городе Тромсе, Норвегия. Передатчик работал на несущей частоте 4,04 МГц в режиме 5 минут включен, 5 минут выключен. Время эксперимента было подобрано с расчетом пролета над возбужденной областью спутников Cluster, что подтверждается построением проекций их орбит по модели геомагнитного поля Цыганенко (Т96) вдоль силовых линий магнитного поля. Целью работы является экспериментально подтвердить наличие эффекта от нагрева на процессы ионосферно-магнитосферного взаимодействия. Для анализа были выбраны данные по электрическому и магнитному полям измеренным на спутниках. Эффект от нагрева предполагается несильным и нестабильным на высотах пролета спутников, поэтому разные методы спектрального анализа были выбраны для исследования, а именно Фурье анализ, вэйвлет анализ, а также EMD (Empirical Mode Decomposition) анализ. Этому последнему методу в работе уделяется особое внимание. Все эти методы показывают не всегда совпадающие результаты, но в большинстве случаев возможно выделить эффект на частоте модуляции сигнала 0,0017 Гц в спутниковых данных.

**Генерация электрических полей
в атмосфере и формирование
глобальной электрической цепи.**

Параметризации конвективных и электрических процессов в климатических моделях

Е.А.Мареєв

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Моделирование климата с использованием физико-математических моделей высокого разрешения в последнее время стало одним из важнейших инструментов изучения климата и его изменений [1]. Учет атмосферных электрических явлений в климатических моделях высокого разрешения связан, однако, с рядом проблем, наиболее актуальной из которых является необходимость параметризации количества и интенсивности грозовых облаков и молниевых вспышек в зависимости от основных физических характеристик конвективной облачности. Дело в том, что шаг по пространству в моделях циркуляции атмосферы и океана даже для моделей наиболее высокого разрешения оказывается большим по сравнению с масштабами процессов конвекции, ответственных за образование грозовых облаков [2]. В данной лекции указанные проблемы анализируются на примере задач о параметризации грозовых разрядов как источника оксидов азота в атмосфере, приводящих к возмущениям состава атмосферы (в том числе озона и гидроксильного радикала) и радиационного баланса, а также задачи о параметризации вклада электрически активных облаков в потенциал глобальной электрической цепи. Обсуждаются результаты численных экспериментов с использованием химико-климатической модели высокого пространственного разрешения. Затронуты вопросы дальнейшего развития физических параметризаций, которые дадут возможность учесть обратные связи между электрическими явлениями, изменениями состава и радиационным балансом атмосферы.

Для учета атмосферных электрических явлений в климатических моделях нужно выразить количество и интенсивность грозовых облаков и молниевых вспышек через параметры, вычисляемые в модели. Первые параметризации средней частоты молниевых вспышек, предназначенные для использования в климатических моделях, были предложены Прайсом и Риндом [3,4]. Частота вспышек была параметризована как функция максимальной высоты конвективного облака. При этом для гроз над континентами и над океанами использовались различные параметризации. В дальнейшем эти параметризации неоднократно использовались для изучения эффектов, обусловленных молниевыми вспышками – в основном, при исследовании возмущений состава атмосферы (см. подробнее обзор [5]). В самое последнее время были проведены численные эксперименты с использованием модели климата INMCM4, разработанной в ИВМ РАН и включающей модель атмосферы с разрешением 2×1.5 градуса по долготе и широте и 21 уровнем по вертикали, и модель океана с разрешением 1×0.5 градуса по долготе и широте и 40 уровнями по вертикали. Проведен чис-

ленный эксперимент по воспроизведению климата и его изменений в 1891–2010 гг., результаты которого неплохо соответствуют современным наблюдательным данным [6].

Следует отметить, что параметризация количества вспышек, основанная на использовании данных по высоте грозового облака, имеет целый ряд недостатков, которые обсуждались в литературе (см., например, [7,8]). Отмечалось, в частности, что высота верхней кромки облака может быть достаточно большой при отсутствии активных восходящих потоков, т.е. высокой молниевой активности. Были развиты параметризации, основанные на сочетании учета скрытой теплоты конденсации и высоты облака, скорости конвективного потока, доступной конвективной потенциальной энергии, отличиях в спектрах CCN ядер в облаках над океаном и над сушей и другие. Как показывают расчеты, проведенные с целью сравнения разных параметризаций на модели ECHAM5/MESy [8], ни одну из этих параметризаций нельзя считать совершенной, но с физической точки зрения использование зависимости темпа вспышек от скорости конвективного потока выглядит предпочтительнее.

Как уже отмечалось, важнейшей интегральной характеристикой ГЭЦ является ионосферный потенциал. Величина же ионосферного потенциала определяется не только разрядами молний, но в первую очередь квазистационарными токами электрически активных облаков. Такие параметризации в последнее время были найдены [9] и включены в климатическую модель INMCM4 [6]. Были выполнены модельные расчеты ионосферного потенциала глобальной электрической цепи в XX и XXI веке. При настройке параметризации изменялся только коэффициент, характеризующий площадь, занятую грозовыми облаками. Моделирование изменений климата в 1900–2005 гг. было проведено с использованием наблюдавшихся концентраций радиационно активных газов и аэрозолей. Проведено сравнение с экспериментальными данными измерений, выполненных во второй половине XX века. Полученный в модели суточный ход, осредненный по всем дням, хорошо соответствует наблюдаемому. Максимум потенциала приходится на 16–20 часов UST, когда конвекция в Африке и Южной Америке максимальна. Годовой ход потенциала имеет максимум летом северного полушария, когда количество случаев конвекции над континентами больше, что также соответствует экспериментальным данным. Межгодовая изменчивость ионосферного потенциала в модели составляет не более 1% от среднего значения, но она хорошо коррелирует с температурой поверхности океана в районе Эль-Ниньо. С использованием предложенных параметризаций дан прогноз эволюции темпа молниевых вспышек и ионосферного потенциала глобальной электрической цепи в XXI веке [6].

С помощью химико-климатической модели высокого разрешения доказана климатологическая значимость грозовой продукции окислов азота [10]. Дальнейшее развитие физических параметризаций даст возможность учесть обратные связи между изменением содержания окислов азота, последующим изме-

нением концентраций озона и других атмосферных газов, способным повлиять на метеорологические условия и, соответственно, на скорость образования окислов азота в молниевых разрядах. В ближайшие годы следует ожидать расширения исследований взаимосвязи атмосферного электричества, погоды и климата. При этом особый интерес представляет изучение роли ионов в образовании мелкодисперсных аэрозолей и облачных частиц, связи молниевых разрядов с пожароопасностью [11] и малыми атмосферными составляющими [10], моделирование глобальной атмосферной электрической цепи в различных сценариях развития климата. Развитие этих исследований невозможно без совершенствования системы мониторинга гроз, молниевых разрядов, глобальной атмосферной электрической цепи.

Литература

1. Дымников В.П., Лысков В.Н., Володин Е.М. Проблемы моделирования климата и его изменений // Известия РАН - Физика атмосферы и океана. 2006. Т.42, № 5. С. 618-636.
2. Arakawa A. The cumulus parameterization problem: past, present, and future // J.Clim. 2004. V.17. P.2493.
3. Price C. and Rind D. A simple lightning parameterization for calculating global lightning distributions // J. Geophys. Res. 1992. V.97. P. 9919–9933.
4. Price C. and Rind D. What determines the cloud-to-ground lightning fraction in thunderstorms? // Geophys. Res. Lett. 1993. V.20. P. 463-466.
5. Schumann U. and Huntrieser H. The global lightning-induced nitrogen oxides source, Atmos. Chem. Phys. 2007. V.7. P.3823-3907.
6. E.A., Volodin E.M. Simulation of Lightning Activity and Global Electric Circuit Evolution Using a GCM Model // Geophys. Res. Lett. 2011 (submitted).
7. Allen D. J. and Pickering K.E. Evaluation of lightning flash rate parameterizations for use in a global chemical transport model // J. Geophys. Res. 2002. V.107, 4711, doi:10.1029/2002JD002066.
8. Tost H., Jockel P., Lelieveld J. Lightning and convection parameterizations - uncertainties in global modeling // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7. P.3823-3907.
9. Kalinin A.V., Mareev E.A., Zhidkov A.A. Calculation of Different-Type Clouds in the Global Atmospheric Electric Circuit // Proc. XIV Int. Conf. on Atmos. Electr. ICAE2011, Rio de Janeiro, Brazil, Aug 2011.
10. Altaratz O., Koren I., Yair Y., Price C. Lightning response to smoke from Amazonian fires // Geophys. Res. Lett. 2007. V.34, L07801, doi:10.1029 /2010GL042679.
11. Смышляев С.П., Мареев Е.А., Галин В.Я. Моделирование влияния грозовой активности на газовый состав атмосферы // Изв.РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 4.С. 487–504.

Анализ свойств самоподобия электрического поля приземной атмосферы

Н.М.Шихова

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Для исследования пространственно-временной изменчивости и неоднородности параметров приземной атмосферы наряду с классическими методами статистического анализа в последнее десятилетие широко используются методы исследования локальной структуры процессов. На основе данных натурных наблюдений в продолжение исследований [1] проанализирована нелинейная структура короткопериодных пульсаций электрического поля приземного слоя E_z . Предложенная схема исследования включала следующие этапы:

1. Исследование распределений приращений $\Delta E_z(\tau) = [E_z(t+\tau) - E_z(t)]/\sigma$ для различных значений сдвига τ , оценка степени их «негауссовости».
2. Определение скейлинговой экспоненты ζ_p из соотношения $\langle [\Delta E_z(\tau)]^p \rangle \sim (\tau)^{\zeta_p}$ [2] в интервале $(1 \div 200)$ с, анализ анизотропии пульсаций.
3. Вычисление дельта-дисперсии, проверка соотношения $\text{Var}[(E(t_2) - E(t_1))^2] = \sigma^2 |t_2 - t_1|^{2H}$, расчет параметра Херста H и фрактальной размерности $D = 2 - H$.
4. Исследование мультифрактальных свойств E_z методом максимумов модулей вэйвлет-преобразования [3] с вычислением обобщенных размерностей Реньи, мультифрактального спектра и показателя перемежаемости.
5. Расчет меры локальной перемежаемости, позволяющей оценить степень неравномерности распределения энергии поля по масштабам флуктуаций на анализируемом интервале, оценка показателя пологости.

Результаты анализа показывают, что в большинстве случаев пульсации ΔE_z обладают свойством самоподобия. На интервалах переходных состояний приземной атмосферы выявлены участки с перемежаемостью, обусловленной анизотропным распределением плотности объемного электрического заряда.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-05-00888-а).

Литература

1. *Anisimov S.V., Mareev E.A, Shikhova N.M., Dmitriev E.M.* Universal spectra of electric field pulsations in the atmosphere // *Geophys. Res. Letters*, 2002. V. 29, № 24. 2002GL015765.
2. *Frisch U.* Turbulence. The legacy of A.N. Kolmogorov. Cambridge University Press, Cambridge, 1995. 296 pp.
3. *Muzy J.F., Bacry E., Arneodo A.* Wavelets and multifractal formalism for singular signals: application to turbulence data // *Phys. Rev. Lett.* 1991. V.67. P. 3515–3518.

Математическое моделирование электричества приземной атмосферы

Э.М.Дмитриев

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Определяющее влияние на электрическое состояние приземной атмосферы оказывает земная поверхность, которую в условиях хорошей погоды можно рассматривать как отрицательный электрод. Совокупность процессов вблизи электрода в ионизированной среде, приводящих к появлению зависимости электрических характеристик среды от расстояния до поверхности электрода называют электродным эффектом.

Современные математические модели приземного электродного эффекта учитывают турбулентность, изменение параметров атмосферы с высотой, присутствие в приземной атмосфере аэрозольных частиц и конвективных потоков. Математические модели сводятся к формулировке начально-краевых задач для систем дифференциальных уравнений, включающих уравнения непрерывности для потоков носителей заряда и уравнения Максвелла для электрического поля. Параметры уравнений зависят от свойств среды и должны рассчитываться по данным натурных измерений [1]. Решениями соответствующих задач являются высотные профили напряженности электрического поля и концентраций носителей заряда.

Приведение уравнений задачи к безразмерному виду позволяет найти характерные масштабы описываемых процессов и безразмерные параметры задачи, величина которых определяет вид решений. При наличии малых безразмерных параметров значительно меньших единицы для исследования решений задачи применимы асимптотические методы, в ряде случаев позволяющие получить приближенные аналитические решения [2,3].

Приближенные аналитические решения, пригодные для описания электродного эффекта в реальной приземной атмосфере, полезны не только для снижения ресурсоемкости численных расчетов, но и для лучшего понимания физики приземного аэроэлектрического слоя.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-05-00888-а).

Литература

1. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Численное моделирование электричества приземной атмосферы // Геофизические исследования, 2008, т. 9, № 3, с. 7–15.
2. Дмитриев Э.М., Филиппов В.А. Аналитическое решение задачи классического электродного эффекта в приземной атмосфере // Геофизические исследования, 2010, т. 11, № 4, С.53–59.
3. Дмитриев Э.М., Филиппов В.А. Приближенное решение для задачи турбулентного электродного эффекта в приземной атмосфере // «Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты». Труды XIV Всероссийской школы-конференции молодых ученых. Н.Новгород, 2010, с. 118–122.

Триггерный механизм глобальных изменений климата

А.В.Карелин

ИЗМИРАН им. Н.В.Пушкова, Троицк

Триггерные механизмы, триггеры (физиология, биология) — пусковые процессы, обеспечивающие резкий переход клетки, органа или целого организма из одного функционального состояния в другое [Большая Советская Энциклопедия].

1. Молекулярно-кинетическая теория конденсации.
2. Роль Солнца, Луны и атмосферного электричества в конденсации, влагосодержании атмосферы и выделении латентного тепла.
3. Электрическая природа атмосферных вихрей различного масштаба (ураганов, торнадо и смерчей).
4. Глобальные климатические последствия триггерного механизма отклика атмосферы на внешнее воздействие.

Вариации полярных проводимостей среднеширотной приземной атмосферы по результатам сезонных полевых наблюдений 2010 года

К.В.Афиногенов, С.В.Анисимов

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

В летний период 2010 года на полигоне Геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных загрязнений и электромагнитных помех были проведены сезонные полевые наблюдения аэроэлектрических характеристик приземного слоя атмосферы. Полевой измерительный комплекс включал электростатические флюксометры (типа field mill), ультразвуковую цифровую метеостанцию, аналоговую метеостанцию, датчики концентрации полярных легких атмосферных ионов, токовый коллектор (для измерения плотности вертикального атмосферного электрического тока), пиранометр, датчик концентрации радона-222 и торона-220.

Пять электростатических флюксометров располагались вдоль линии запад-восток на расстоянии 5 метров друг от друга на различных высотах. Первый — на уровне поверхности земли, второй — на высоте 0,3 м, третий — 0,5 м, четвертый — 0,7 м и пятый на высоте 1 м. Два датчика концентрации легких атмосферных ионов устанавливались на расстоянии 10 метров от линейки флюксометров на высоте 1 м. Цифровая ультразвуковая метеостанция располагалась на высоте 2 м. Цель эксперимента — изучение высотных аэроэлектрических профилей и электродного эффекта [1,2].

В ходе наблюдений сформирован банк данных, из которого выбирались амплитудно-временные ряды, соответствующие условиям «хорошей погоды». Проведен анализ вариаций полярных проводимостей приземной атмосферы во временном интервале от 24 часов до 1 минуты. Выявлена суточная вариация объемного заряда, обнаружена корреляция величины плотности объемного заряда с изменениями атмосферного электрического поля, тока и концентрации радона. Проанализирована зависимость изменения аэроэлектрического состояния приземного слоя от вариаций освещенности.

Работа проводится при поддержке РФФИ (грант № 09-05-00888-а).

Литература

1. *Israelson S., Knudsen E., Anisimov S.V.* Vertical profiles of electrical conductivity in the lowermost part of the turbulent layer over flat ground // *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*. Vol. 56, No.12, 1994, P.1545–1550.
2. *Смирнов В.В.* Природа и эволюция сверхмалых аэрозольных частиц // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, том 42, №6, 2006, С. 723–748.

Численное моделирование переноса объемного заряда и электрического поля приземной атмосферы

С.В.Галиченко, С.В.Анисимов, Н.М.Шихова

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Атмосферный пограничный слой (АПС) является электродинамически активной средой, процессы в которой существенно определяют пространственно-временную динамику электрических характеристик приземного слоя [1]. Необходимость изучения электрических процессов в АПС диктуется развитием представлений о некоторых механизмах формирования глобальной электрической цепи (ГЭЦ). Ключевыми вопросами, при этом, остаются количественный баланс атмосферных электрических токов в ГЭЦ, а также эволюция высотных профилей полярных электрических проводимостей и объемных зарядов.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования структур аэроэлектрического поля, формируемых пространственно неоднородным объемным зарядом, включенным в атмосферные течения при различных условиях стратификации АПС. Обсуждаются вероятные механизмы, влияющие на изменчивость приземного аэроэлектрического поля. Рассмотрен турбулентный вынос и перемешивание объемного заряда из приземного слоя по всей высоте АПС, генерация аэроэлектрических структур и формирование электрически активных слоев приземной атмосферы. В работе использованы цифровые данные разнесенного приема вариаций атмосферного электрического поля посредством электростатических флюксометров («field-mill»), а также результаты натурных обсерваторских наблюдений высотных профилей трех компонент скорости ветра с использованием СОДАРа (Sound Detection and Ranging). Показано, что наиболее интенсивные возмущения приземного аэроэлектрического поля в условиях «хорошей погоды» определяются динамикой образования и переноса аэроэлектрических структур, а эволюция высотных профилей электрического поля — изменением пространственного распределения объемного заряда.

Литература

1. *Анисимов С.В., Шихова Н.М.* Перенос электричества в атмосферном слое обмена // «Геофизические исследования», Т.11, № 1, 2010, С.55–63.

Трехмерная модель влияния спрайта на химический состав мезосферы

А.А.Евтушенко, Ф.А. Кутерин

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

В последнее время вопрос влияния высотных разрядов на химический состав атмосферы является актуальным. Предпринимаются попытки описать влияние спрайтов и джетов на химический баланс атмосферы. Однако известные нам модели решают одноточечную задачу. Решение объемной задачи для области спрайта проведено нами впервые.

Спрайт моделировался в радиально-симметричном приближении на высотах от 75 до 90 км, то есть вся область занята так называемой диффузной областью спрайта. Вспышка спрайта задавалась возмущением напряженности электрического поля и температуры электронов.

При подробном исследовании результатов моделирования показана большая роль диффузии в описании релаксации химических компонент в области спрайта.

Работа выполнена при поддержке Программы ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследования атмосферных процессов».

Солнечные и лунные приливы в электрическом поле пограничного слоя атмосферы

А.А.Закиров

Владимирский государственный университет, Владимир

Работа связана с исследованием взаимосвязи электрического поля пограничного слоя атмосферы с геофизическими процессами с помощью радиотехнических и радиофизических методов и средств. Работы, проводимые во Владимирском государственном университете на кафедре общей и прикладной физики, связаны с постановкой регулярных измерений электрического поля пограничного слоя атмосферы на сети разнесенных в пространстве станций с целью наземной диагностики электрических полей и анализа их взаимосвязей с приливными воздействиями [1,2].

В 2000–2010 годах осуществлен режим синхронного мониторинга электрического поля ультранизкочастотного диапазона (ниже 30 Гц) с помощью аппаратуры, созданной в Владимирском государственном университете (ВлГУ), на четырех разнесенных в пространстве станциях: станция на полигоне ВлГУ; станция в радиофизическом корпусе ВлГУ; станция в ГГО НИЦ ДЗА (Главная геофизическая обсерватория научно-исследовательский центр дистанционного зондирования атмосферы); станция на оз. Байкал (Институт Солнечно-земной физики СО РАН).

Отношение сигнал/шум (q) на частотах лунных приливов находится в пределах: на частоте прилива M1: 1,8–3,1, на частоте прилива M2: 1,3–2,3, на частоте прилива N2: 0,9–1,6, на частоте прилива O1: 2–1,5, на частоте прилива L2: 4,2–1,1. Среднее значение амплитуды электрического поля на частота лунных приливов составило 12,2–1,7 В/м, что соответствует теоретическим оценкам для E_z на частотах лунных приливов согласно разработанной модели [3].

Литература

1. *Грунская, Л.В.* Оценка параметров электрического поля приземного слоя атмосферы на основе метода корреляционного приема: монография / Л.В. Грунская. Владимир: Владимирский государственный университет 2010. 123 с. ISBN 978-5-9984-0054-4.
2. *Грунская, Л.В.* Лунные приливы в электрическом поле пограничного слоя атмосферы / Л.В.Грунская, В.Н Морозов, В.А. Ефимов, А.А. Закиров // Известия вузов. Физика. 2010. т.53. №1. С.22–27.
3. *Грунская, Л.В.* Экспериментальные и теоретические исследования вариаций напряженности электрического поля, обусловленных солнечными и лунными приливами в приземном слое атмосферы / Л. В. Грунская, В. Н. Морозов // Известия вузов. Физика. 2005. № 8. С. 33–39.

Суточное и годовое изменение параметров атмосферного электричества в зависимости от широты и долготы

Л.И. Коломеец, В.В. Черевань, А.К. Монзикова, Л.В. Кашлева

Российский государственный гидрометеорологический университет, С.-Петербург

Электрические явления, происходящие в атмосфере, и ее электрические свойства имеют существенное значение для многих метеорологических процессов. Они являются одним из основных физических характеристик атмосферы. Кроме того, электрическое состояние атмосферы нередко влияет на работу многих производственных процессов в современном техническом мире. Кроме того они могут служить индикатором загрязнения окружающей среды. Именно поэтому актуально исследование параметров атмосферного электричества.

Для анализа были использованы данные мировой сети станций атмосферного электричества, где представлены результаты измерений напряженности электрического поля, полярной проводимости и вертикального тока. Подробно были рассмотрены данные станций Воейково, Иркутск и Лиссабон. Целью работы было проследить суточный и годовой ход напряженности и проводимости атмосферы и выявить их взаимосвязь, проверить гипотезу об унитарной вариации, а также проанализировать изменения напряженности и проводимости за период с 1968 по 1982 гг.

В результате анализа данных были построены зависимости годового и суточного хода напряженности и проводимости атмосферы на станции Воейково, Иркутск и Лиссабон. Анализируя данные по 3 станциям за 2 года с интервалом почти в 20 лет были сделаны следующие выводы.

Напряженность (E) и проводимость (λ) имеют ярко выраженный годовой ход. Отметим, что напряженность и проводимость меняются в противофазе (годовой ход E : $\min$ — лето, $\max$ — зима; годовой ход λ : $\min$ — зима, $\max$ — лето).

Прослеживается зависимость напряженности и проводимости от широты — оказалось, что все значения напряженности увеличиваются до 60 широты.

Большой вклад в суточный ход исследуемых параметров вносят антропогенные источники загрязнения (прослеживается унитарная вариация только в удаленных от «очагов загрязнения» станциях).

В пункте, долгота которого значительно отличается от нулевого меридиана (Иркутск), в суточном ходе электрического поля не прослеживается унитарная вариация.

Все характеристики в Воейково и в Иркутске сильно изменились за исследуемый период, в Лиссабоне различия не значительны. Одним из возможных объяснений может быть загрязнение атмосферы за период с 1968 по 1982 гг.

Литература

1. *Кашлева Л.В.* Атмосферное электричество. Учебное пособие, 2008, РГТМУ.
2. *Френкель Я.И.* Теория явлений атмосферного электричества. Изд.3, 2007, М.

Атмосферно-электрические измерения в степной и высокогорной зонах Северного Кавказа

Т.В.Кудринская

Педагогический институт Южного федерального университета, Ростов-на-Дону

Сложность исследования атмосферно-электрических процессов в атмосфере связана с их многофакторностью. Как показывают исследования одним из важнейших факторов, влияющих на электричество приземного слоя, является содержание в атмосфере радона-222. Вместе с космическим излучением радиоактивность почвы и атмосферы обуславливает пространственно-временные вариации ионообразования в атмосфере, а значит и атмосферно-электрических характеристик.

Комплексные исследования электрического состояния атмосферы проводились в течение ряда лет в различных пунктах Северного Кавказа. Экспедиционные измерения включали: определение удельной электропроводности атмосферного воздуха аспирационным методом с помощью прибора Гердиена; определение градиента потенциала методом радиоактивного коллатора, а на уровне земной поверхности — электростатическим флюксметром; измерение концентрации ионов счетчиком ионов «Сапфир-3М»; измерение концентрации радона-222 — радономером «Alpha-GUARD». Кроме того, использованы данные измерений метеорологических параметров, описывающих состояние атмосферного воздуха.

В таблице приведены средние значения метеорологических параметров на территории Ростовской области и в Приэльбрусье (п.Чегет).

	день			ночь		
	Темп, °С	Градиент темп. °С/м	Скорость ветра, м/с	Темп, °С	Градиент темп. °С/м	Скорость ветра, м/с
Михайловка	21,4	–0,3	1,3	12,2	1,3	0,3
Платов	26,1	–0,3	3,0	15,1	0,8	0,8
Талловров	30,1	–0,3	2,4	16,8	1,0	0,5
Орловка	29,8	–0,4	2,4	18,6	0,5	1,0
Ростов	25,7	–0,3	1,8	15,8	0,7	0,3
Чегет	14,1	–0,6	2,3	9,0	0,8	1,2

Локальные метеорологические факторы позволяют судить о степени перемешивания в атмосфере и оказывают существенное влияние на структуру электродного слоя, в частности на вертикальное распределение атмосферно-электрических параметров. На рисунке представлены характерные вертикальные профили для разных пунктов в степной и высокогорной зонах Северного Кавказа.

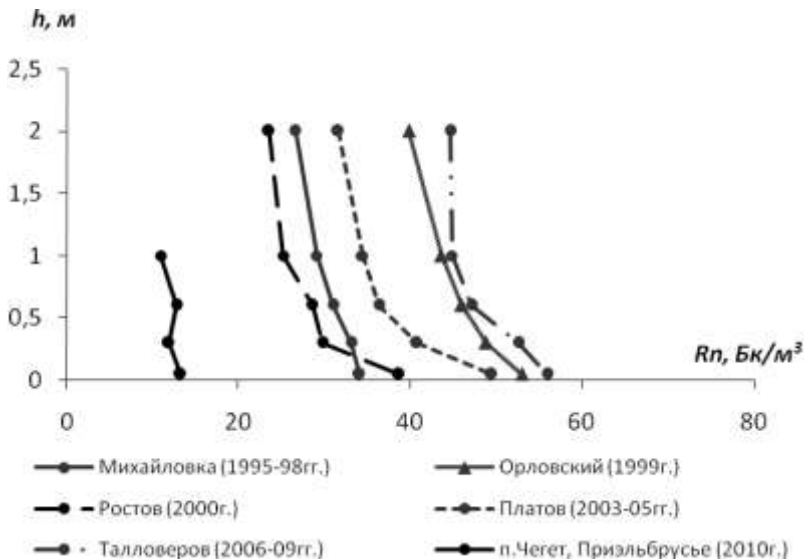


Рис. 1. Вертикальное распределение объемной активности радона-222 для различных пунктов Ростовской области и Приэльбрусья.

Следует отметить, что высокогорная зона характеризуется отсутствием сильных источников ионизации. Кроме того, данные измерений в Приэльбрусье отличаются сильным электрическим полем и в результате характеризуются более интенсивным протеканием приэлектродных процессов. Выявлена корреляция удельной электрической проводимости с вариациями градиента потенциала.

Для пунктов наблюдений в степной зоне можно отметить корреляцию удельной электрической проводимости с концентрацией радона в приземном слое атмосферы.

О решении плазмодинамических задач с диффузией применительно к исследованию возмущений состава атмосферы

Ф.А.Кутерин, А.А.Евтушенко

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Современные плазмодинамические модели влияния разрядов в мезосфере (спрайтов) на химический состав атмосферы включают в себя большое количество фракций (от нескольких десятков до нескольких сотен) и большое количество реакций (несколько сотен или даже тысяч). Для таких моделей аналитическое решение крайне трудоемко. В то же время численное решение предполагает составление весьма громоздкой системы дифференциальных уравнений, что также является весьма трудной задачей.

В работе предложена методика построения системы дифференциальных уравнений с частными производными, описывающей химические реакции и диффузию, по заданному набору химических реакций. Программная реализация указанной методики составляет систему дифференциальных уравнений в виде, пригодном для решения методом конечных элементов с помощью стороннего программного обеспечения, проверяет химические реакции на корректность и позволяет строить отчеты. В качестве выходного языка отчетов используется LaTeX.

Описанный подход с минимальными изменениями может быть применен и для других моделей, включающих как химические реакции, так и другие физические процессы.

Работа выполнена при поддержке Программы ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследования атмосферных процессов».

О критических условиях зажигания огней Св. Эльма над заряженной жидкой пленкой, подогреваемой снизу

А.А.Очиров, Д.Ф.Белоножко

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

Огни Св. Эльма — сложное природное явление, наблюдаемое в грозовую погоду в виде светящихся голубоватых «нимбов» над различными обводненными поверхностями: над мачтами кораблей и линий электропередач; над плоскостями самолетов; над крестами церквей. Известно, что электрически заряженная свободная поверхность жидкости неустойчива по отношению к избытку электрического заряда. В условиях, когда электрические силы на свободной поверхности преобладают над капиллярными, на этой поверхности образуются конусообразные выступы (конусы Тейлора) с вершин которых происходит сброс избыточного заряда в виде большого количества маленьких сильно заряженных капелек (неустойчивость Тонкса-Френкеля). Вблизи поверхности каждой из капелек электрическое поле в большинстве случаев оказывается достаточно интенсивным для зажигания коронного разряда. Светящееся облако капелек и создает иллюзию нимба. Критические условия зажигания огней Св. Эльма определяются пороговым значением электрического заряда, по превышении которого реализуется неустойчивость Тонкса-Френкеля.

Была рассмотрена задача о расчете влияния подогрева жидкой пленки снизу на критические условия реализации неустойчивости Тонкса-Френкеля. Решались основные уравнения электрогидродинамики вязкой теплопроводной жидкости. Пленка полагаюсь настолько тонкой, что эффектами плавучести жидких частиц можно пренебречь. Исследовался характер взаимодействия неустойчивости Тонкса-Френкеля с неустойчивостью Марангони, дестабилизирующей свободную поверхность посредством тангенциальных термокапиллярных сил. Анализировалось распределение электрических и термокапиллярных сил по возмущенной виртуальным волновым движением свободной поверхности. Выяснилось, что касательные к поверхности термокапиллярные силы формируют распределение момента сил, стремящегося привести периодические ячейки жидкости в конвективное движение такое, что под гребнями волн стимулируется движение жидких частиц вниз (в жидкость), а под впадинами вверх (из жидкого слоя). В противоположность этому нормальные к поверхности электрические силы, ответственные за вытягивание конусов Тейлора максимальны именно на гребнях. Таким образом, оказалось, что рассматриваемые неустойчивости взаимно подавляют друг друга. В частности при усилении подогрева критическое значение поверхностной плотности заряда, выше которого формируются конусы Тейлора, снижается.

Статистика грозовых событий и особенности конвективного сезона 2010 года в Верхне-Волжском регионе

М.В.Шаталина, В.В.Клименко, Ю.В.Шлюгаев, Е.А.Мареев

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

В 2010 году в ИПФ РАН был проведен очередной цикл натурных экспериментов по исследованию динамики электрического поля в пограничном слое атмосферы в различных метеорологических и геофизических условиях. Был развернут макет многофункционального экспериментального комплекса по приему и регистрации электромагнитных полей в Н.Новгороде (ИПФ РАН, Нижегородская метеостанция) и на выездном пункте в районе г. Горodца в 60 км к северо-западу от Н.Новгорода; проведены комплексные эксперименты по изучению грозового электричества в период с мая по октябрь 2010 года. Получил дальнейшее развитие метод измерения числа грозовых часов в сутках для изучения климатологии гроз. Продемонстрирована согласованность полученных рядов дисперсии электрического поля с наблюдательными данными по грозам.

Проведенные эксперименты позволили продолжить комплексное изучение статистики и энергетики молниевых вспышек в средних широтах в период активной конвекции. Наблюдения, проведенные в течение конвективного сезона 2010 г., показали, что число грозовых часов в сутках коррелирует со средней температурой воздуха и служит количественным показателем интенсивности конвективных процессов в атмосфере не только в средне-климатических условиях, но и в условиях аномально жаркой и сухой погоды.

Литература

1. *Е.В.Широков, В.В.Клименко, Е.А.Мареев, Ю.В.Шлюгаев.* Статистические характеристики электрической активности грозовых облаков // Тр. 14-й Всерос. конф. мол. ученых «Состав атмосферы. Климатические эффекты. Атмосферное электричество». 17–20 мая 2010, Нижний Новгород, с.132–134.
2. *Shlyugaev Yu.V., Klimenko V.V., Sokolov V.V., Vyatkin A.G., Denisov V.P.* Experimental study of thunderstorm climatology in the Upper Volga region // Proc. Third Int. Conf. «Frontiers of Nonlinear Physics», Nizhny Novgorod St.-Petersbourg, Jul 2010. P.242.
3. *В.В. Клименко, Е.А.Мареев, Ю.В. Шлюгаев, Е.В.Широков, М.В.Шаталина,* Статистические характеристики электрической активности грозовых облаков, Изв. РАН. Физика атмосферы и океана (в печати).

Резонансная ближнепольная СВЧ-диагностика водности тумана

Д.В.Янин, А.В.Костров

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Туман — это атмосферное явление, проявляющееся в виде скопления в воздухе мельчайших продуктов конденсации водяного пара. Туман оказывает существенное влияние на физические и химические явления, протекающие в природе, а также на разнообразные лабораторные и производственные процессы.

Настоящая работа посвящена исследованию возможностей метода резонансного ближнепольного СВЧ зондирования применительно к диагностике водности тумана.

Суть предлагаемой методики состоит в следующем. Область среды, находящейся в ближнем поле зондирующей электрически малой антенны, оказывает влияние на ее импеданс. Если антенна включена в качестве нагрузки в резонансную систему, то по смещению резонансной частоты и изменению добротности можно судить об электродинамических параметрах среды вблизи антенны и по ним оценивать свойства исследуемого объекта. В качестве резонансной системы использовался высокодобротный СВЧ резонатор на отрезке двухпроводной линии.

Экспериментальная установка, на которой проводились исследования, представляет собой сосуд с водой, на дне которого находится нагревательный элемент. Над поверхностью воды на расстоянии 4 см расположена ближнепольная антенна резонансного датчика. После включения нагревательного элемента вода закипает, и с ее поверхности начинается происходить процесс интенсивного испарения. Проведены измерения интенсивности испарения и водности пара при разной мощности нагревательного элемента. Была показана высокая чувствительность измерительной системы даже к незначительным концентрациям водяного пара в окрестности квазистатического поля ближнепольной антенны, которые нельзя зафиксировать визуально. Анализ системы резонансных кривых датчика позволил найти комплексную диэлектрическую проницаемость и оценить водность водяного пара. В ближайшее время планируется апробировать методику в натуральных условиях.

**Моделирование физико-химических
механизмов и обратных связей
в климатических системах.**

Анализ климатических изменений с оценкой роли естественных и антропогенных факторов и причинно-следственных связей

И.И.Мохов

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

Анализируются современные глобальные и региональные изменения климата с диагностикой причинно-следственных связей в земной климатической системе. Оценивается сравнительная роль естественных и антропогенных факторов. Наряду с вкладом солнечной и вулканической активности, антропогенных эмиссий парниковых газов и аэрозоля учитываются эффекты долгопериодных вариаций термохалинной циркуляции океана, скорости вращения Земли. Проводится диагностика взаимосвязи ключевых климатических циклов, связанных с процессами в бассейнах разных океанов. Делаются оценки связи характеристик климата, в том числе климатических экстремумов, в российских регионах с процессами в Северной Атлантике, Арктике, в тропиках Тихого океана. Обсуждается проблема предельно допустимых воздействий на климатическую систему, при превышении которых качественно меняется динамика глобального и регионального климата.

Механизмы формирования экстремальной жары на примере лета 2010 года

Е.М.Володин

Институт вычислительной математики РАН, Москва

При формировании продолжительной экстремальной жары летом в умеренных и субтропических районах, как правило, образуется блокинг — явление атмосферной циркуляции, при котором западный ветер в умеренных широтах ослабевает или сменяется восточным, при этом в субтропиках и высоких широтах западный ветер, наоборот, усиливается. С одной стороны, блокинг является стационарным решением баротропного уравнения с нулевой правой частью. С другой стороны, в правой части трение о поверхность компенсируется переносом импульса волнами Россби. На северной и южной окраинах блокинга происходит генерация волн Россби и западное ускорение. В центральной части блокинга происходит обрушение волн Россби и восточное ускорение. Это определяет устойчивость блокингов. Тем не менее, время жизни конкретного блокинга предсказать на срок более 10–15 суток практически нельзя. В случае лета 2010 г. в Европейской России, экстремальной жаре в центре России способствовало то, что там, откуда дул преобладающий приземный ветер, была засуха, и поэтому проходящий над засушливой почвой воздух не тратил тепло на испарение. С помощью численных экспериментов с моделью климата показано, что вклад собственно блокинга в аномалию температуры составил около 4 градусов, а вклад засухи — около 3 градусов. Показано, что во время других экстремальных жарких событий (во Франции в 2003 г., на северо-западе США в 2007 г., и др.) также имело место случайное совпадение двух событий: блокинга и засухи, что и обеспечивало особенно большую аномалию температуры.

Принципы обработки данных радиозатменного зондирования атмосферы Земли и их усвоения в модели глобальной циркуляции атмосферы

М.Е.Горбунов

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

Эксперименты по радиозатменному зондированию атмосферы Земли при помощи сигналов системы GPS проводятся, начиная с 1995 года. Прием сигналов, прошедших через атмосферу Земли выполняется при помощи специализированных приемников, установленных на искусственных спутниках Земли с высотой орбиты 600–800 км. К настоящему времени были проведены измерения при помощи спутников Microlab-1 (программа GPS/MET, 1995–1997) [1], CHAMP (Challenging Minisatellite Payload, 2000–2010) [2], GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), COSMIC (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate, с 2006) [3], METOP (Meteorological Operation Satellite, инструмент GRAS, GNSS Receiver for Atmospheric Sounding, с 2006) [4].

В радиозатменных экспериментах выполняются измерения как амплитуды, так и фазы принимаемого радиосигнала. Это открывает широкие возможности по применению принципа синтезированной апертуры. Высокоточное восстановление профилей угла рефракции выполняется при помощи подхода, основанного на технике интегральных операторов Фурье [5]. Широкими возможностями для анализа радиозатменных данных обладают также радиоголографические методы, основанные на использовании спектрограмм [6]. Существенно более высокого разрешения по сравнению со спектрограммой обеспечивается вигнеровским представлением волнового поля [7]. Радиоголографический анализ данных позволяет формулировать критерии зашумленности для использования в алгоритмах автоматического контроля качества данных [8].

Вопросы систематических ошибок определения угла рефракции и восстановления метеопараметров атмосферы исследовались в [9]. Была выявлена структурная неопределенность. Она связана с нашим неточным знанием структуры шума измерительной системы и флуктуаций сигнала, вызванных атмосферными мелкомасштабными структурами. В настоящее время нами разработана и постоянно совершенствуется система обработки радиозатменных данных. Эта система применяется совместно с Гидрометцентром России для оперативного усвоения радиозатменных данных в модель глобальной циркуляции атмосферы с целью численного прогноза погоды.

Литература

1. Ware, R. GPS Sounding of the Atmosphere from Low Earth Orbit: Preliminary Re-

- sults / R. Ware, M. Exner, D. Feng, M. Gorbunov, K. Hardy, B. Herman, Y.-H. Kuo, T. Meehan, W. Melbourne, C. Rocken, W. Schreiner, S. Sokolovskiy, F. Solheim, X. Zou, R. Anthes, S. Businger, K. Trenberth // Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. V. 77. No. 1. P. 19–40.
2. Wickert, J. Atmosphere Sounding by GPS Radio Occultation: First Results from CHAMP / J. Wickert, C. Reigber, G. Beyerle, R. Konig, C. Marquardt, T. Schmidt, L. Grunwaldt, R. Galas, T. K. Meehan, W. G. Melbourne, K. Hocke // Geophys. Res. Lett.. 2001. V. 28. No. 17. P. 3263–3266.
 3. Rocken, C. COSMIC System Description / C. Rocken, Y.-H. Kuo, W. S. Schreiner, D. Hunt, S. Sokolovskiy, Ch. McCormick // Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science. 2000. V. 11. No. 1. P. 21–52.
 4. Von Engel, A. Validation of Operational GRAS Radio Occultation Data / A. Von Engel, S. Healy, C. Marquardt, Y. Andres, F. Sancho // Geophysical Research Letters. 2009. V. 36. L17809, doi: 10.1029/2009GL039968.
 5. Gorbunov, M. E. Analysis of wave fields by Fourier Integral Operators and its application for radio occultations / M. E. Gorbunov and K. B. Lauritsen. // Radio Science. 2004. V. 39. No. 4. RS4010, doi: 10.1029/2003RS002971.
 6. Hocke, K. Radio occultation data analysis by the radioholographic method / K. Hocke, A. G. Pavelyev, O. I. Yakovlev, L. Barthes, N. Jakowski // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 1999. V. 61. No. 15. P. 1169–1177.
 7. Gorbunov, M. E. Application of Wigner distribution function for analysis of radio occultations / M. E. Gorbunov, K. B. Lauritsen, S. S. Leroy // Radio Science. 2010. V. 45. RS6011. doi: 10.1029/2010RS004388.
 8. Горбунов, М. Е. Обработка и контроль качества данных проекта COSMIC по радиозатменному зондированию атмосферы Земли / М. Е. Горбунов // Исследование Земли из космоса. 2009. № 4. С. 36–46.
 9. Sokolovskiy, S. On the uncertainty of radio occultation inversions in the lower troposphere / S. Sokolovskiy, C. Rocken, W. Schreiner, D. Hunt // J. Geophys. Res. 2010. V. 115, No. D22111, doi: 10.1029/2010JD014058.
 10. Цырульников, М. Д. Усвоение данных наблюдений об окружающей среде: состояние и перспективы / М. Д. Цырульников, П. И. Свиренко, В. Е. Горин, М. Е. Горбунов, Е. Г. Климова // Тезисы докладов VI-ого Всероссийского Метеорологического съезда (МС-VI). 14–16 октября 2009 г.

Вариации длительности макросиноптических процессов в связи с изменениями потоков космических лучей

И.В.Артамонова

Санкт-Петербургский государственный университет, С.-Петербург

В работе проведено исследование влияния вариаций солнечных и галактических космических лучей на длительность элементарных синоптических процессов (ЭСП) над Атлантико-Европейским сектором. Обнаружено, что всплеск солнечных космических лучей (СКЛ) приводит к увеличению длительности ЭСП, относящихся к западной и меридиональной формам атмосферной циркуляции. Показано, что Форбуш-понижение галактических космических лучей (ГКЛ) сопровождается увеличением длительности ЭСП, относящихся к меридиональной форме атмосферной циркуляции и уменьшением длительности ЭСП, относящихся к западной и восточной формам атмосферной циркуляции.

Наблюдаемые вариации длительности ЭСП объясняются влиянием короткопериодных вариаций потоков космических лучей на интенсивность циклонических процессов в умеренных и высоких широтах Северного полушария, а именно, с регенерацией североатлантических циклонов у юго-восточного побережья Гренландии после всплесков СКЛ и развитием блокирующего антициклона над северо-востоком Атлантики, Европой и Скандинавией в ходе Форбуш-понижений ГКЛ. Предполагается, что развитие указанных барических образований возникает вследствие изменения структуры термобарического поля нижней атмосферы под влиянием короткопериодных вариаций потоков космических лучей.

Взаимодействие озоновых аномалий и барических образований в мезомасштабном моделировании

С.К.Бородко^{1, 2}, В.В.Жучкевич²

¹ Физический факультет БГУ, Минск

² Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы, Минск

В настоящее время наблюдается высокий интерес к исследованию стратосферно-тропосферных связей и механизмов их реализации [1]. Многие детали соответствующих процессов по-прежнему не выяснены, в связи с чем для их объяснения привлекается ряд гипотез.

В изучении атмосферных явлений все более значимая роль отводится численному моделированию, однако на данный момент в первую очередь это относится к исследованию динамических процессов в тропосфере. Как правило, процессы в стратосфере рассматриваются лишь в планетарном масштабе в моделях глобальной циркуляции атмосферы и климата, что ограничивает их детализацию. Моделирование динамики стратосферного озона проводится также и с использованием упрощенных теоретических представлений, справедливых лишь на крупных масштабах [2].

В то же время, важные стратосферно-тропосферные связи могут в значительной мере определяться процессами, не разрешаемыми в глобальных моделях. Примером такого взаимодействия является гипотеза о связи барических образований с локальными озоновыми аномалиями [3]. Следуя этой гипотезе, барические образования в тропосфере могут в том числе служить в качестве предиктора отклонений в общем содержании стратосферного озона.

Для воспроизведения механизма такой связи в данном исследовании было проведено рассмотрение нескольких случаев развития и прохождения озоновых аномалий на основе мезомасштабной модели Weather Research & Forecasting (WRF). На текущий момент WRF представляет собой наиболее развитую систему атмосферного моделирования общего пользования, основной областью применения которой является негидростатическое моделирование мезомасштабных процессов в тропосфере. Модульная структура системы WRF нацелена на возможность расширения модели за счет реализации новых представлений физических процессов. Расширение WRF/Chem предназначено для моделирования переноса примесей и малых составляющих атмосферы и воспроизведения широкого спектра химических и фотохимических процессов, типичных для тропосферы (как правило, не выше 50 мб).

В рамках представленного исследования система WRF была модифицирована для воспроизведения динамического переноса озона в стратосфере как малой составляющей. В схемы представления коротковолнового и длинноволнового излучения в модели была внесена зависимость от измене-

ния содержания озона, обусловленного адвекцией. Это позволяет учитывать взаимное влияние излучения и динамического переноса озона.

В рамках исследования рассмотрено несколько случаев озоновых аномалий и барических образований на территории Европы, в частности, над Минском. Данные моделирования иллюстрируют взаимодействие распределения озона и картины барического поля, обусловленное чисто динамическим механизмом.

В свете полученных результатов рассматривается гипотеза образования дипольных структур в распределении озона. Рассмотренные случаи свидетельствуют о высокой вероятности реализации подобного механизма. Представляет интерес, насколько он может реализовываться в условиях антарктической полярной зимы.

Литература

1. *Mohanakumar, K. Stratosphere Troposphere Interactions. An Introduction / K. Mohanakumar. Springer, 2008. 416 P.*
2. *James, P.M. A Study of Ozone Mini-hole Formation Using a Tracer Advection Model Driven by Barotropic Dynamics / P.M. James, D. Peters, K.M. Greisiger // Meteorology and Atmospheric Physics. 1997. V. 64. P. 107–121.*
3. Оценка циркуляционно- и климатообусловленных вариаций общего содержания озона и притока ультрафиолетовой радиации. Совершенствование физико-математических моделей их формирования и методов прогнозирования / Отчет о НИР. НИИЦ МО БГУ, Минск, 2010. 107 с.

Оценки воздействия климатических изменений на природные системы криолитозоны России

С.А.Ренёва, О.А.Анисимов, Е.Л.Жильцова, Ю.Г.Стрельченко
Государственный гидрологический институт, С.-Петербург

Для оценки влияния прогнозируемых изменений климата на растительность был создан блок, описывающий динамику растительных зон, в сопряженной модели гидротермического режима вечной мерзлоты и растительности, который представляет собой самостоятельную эмпирико-статистическую модель, построенную на расчетных климатических индексах. В ее основу положено представление о том, что зональность растительности субполярной области определяется, главным образом, наличием и состоянием вечной мерзлоты, теплообеспеченностью в вегетационный период, суровостью зим, а также гидротермическим фактором, характеризующим соотношение увлажнения и испарения. Для количественного описания этих факторов были использованы три климатических индекса, которые ранее применялись в работе [1]: сумма температур выше 5°C , сумма температур ниже 0°C и индекс сухости, равный отношению суммы температур выше 5°C к годовому количеству осадков. Для расчета этих индексов использовались как данные измерений на метеостанциях, так и архивы месячных значений температуры воздуха и осадков в узлах регулярной сетки (CRU-2) с разрешением 0.5° по широте и долготе. В первом случае была выбрана сеть из 310 метеостанций на территории России и около 100 метеостанций на сопредельных территориях, данные которых осреднялись за период, принятый в качестве метеорологической нормы, 1961–1990 гг.

Построение эмпирико-статистической модели состояло в определении климатических и геофизиологических границ, детерминирующих растительные зоны в пределах полярного, субполярного и умеренного климатических поясов на территории России. Для этого была составлена генерализованная электронная карта современных биоклиматических зон России. За основу были взяты две карты современной растительности [2,3]. Обе карты были созданы на основе синтеза данных полевых наблюдений и спутниковой информации, они репрезентативно отражают актуальную биоклиматическую зональность. На первой из них хорошо представлены основные растительные сообщества бореальной зоны, включая альпийскую растительность. Однако тундра на ней указана без деления на какие-либо более детальные категории по растительности, что не позволило использовать только лишь ее в данной работе. Для детализации растительности в этой зоне на карту «Атласа земельных ресурсов» был наложен фрагмент циркумполярной карты CAVM тундровой растительности, соответствующий территории России. В результате зона тундры была разделена на четыре подзоны: по-

лярную пустыню; злаковую, кустарничковую и кустарниковую тундру. Помимо тундры на карте были выделены растительные зоны, относящиеся к лесному и степному поясам.

По сопряженной модели гидротермического режима вечной мерзлоты и растительности были рассчитаны прогнозы распространения растительных зон для 4 временных срезов: 2001–2030, 2016–2045, 2031–2060 и 2066–2095 гг. Для этого использовался ансамблевый сценарий, объединяющий результаты расчетов по 17 гидродинамическим моделям, использованным в четвертом оценочном докладе МГЭИК для оценки климата 21 века. Был выбран вариант расчета, соответствующий сценарию эмиссии парниковых газов В2, предусматривающий рост энергопотребления в экономике в 21 веке.

На полученных итоговых картах можно отметить заметное смещение границ зон растительности к северу, сокращение тундры, расширение степной зоны вне области распространения многолетнемерзлых пород и существенное сокращение территории, на которой относительно небольшая глубина сезонного оттаивания (до 1 метра) в летний период препятствует формированию корнеобитаемого слоя.

Литература

1. Чебакова Н.М., Парфенова Е.И. Вычислительные технологии. 2006, т. 7, № 3. С. 77–86.
2. Circumpolar Arctic vegetation map, CAVM Team. 2003, <http://www.geobotany.uaf.edu/cavm>
3. Stolbovoi V., McCallum I. 2002. CD-ROM «Land Resources of Russia», International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science, Laxenburg, Austria, <http://www.iiasa.ac.at>

Сопоставление задымленности Московского региона в августе 2010 года с особо загрязненными состояниями атмосферы в г. Пекине

Т.П.Сафрыгина¹, А.С.Емиленко²

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева, Москва

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

Жара летом 2010 года привела к пожарам и ухудшению качества воздушной среды в Московском регионе. Резко увеличилась концентрация продуктов горения биомассы. Наибольшей она была 6–9 августа. В эти дни зарегистрированы рекордные средние часовые и суточные значения концентраций всех измеряемых примесей. Среди многочисленных последствий самыми неблагоприятными были ухудшение здоровья москвичей и увеличение смертности.

В докладе приводятся основные данные о повторяемости, интенсивности и длительности оптических характеристик дымов лесных и торфяных пожаров. Сравниваются результаты измерений, которые проводились на Звенигородской научной станции ИФА РАН (ЗНС) с помощью спектрополяриметра ФАН с аналогичными результатами измерений, проводимыми в Пекине. В Москве очень редко наблюдаются концентрации аэрозоля выше 150 мкг/м^3 , предыдущий случай был летом 2002 года и описан в работе [1]. Для Пекина типична ситуация, когда с синоптической периодичностью чередуются отрезки времени с высоким уровнем аэрозольного загрязнения (смог) и с незамутненной атмосферой. В работе [2] рассмотрено более 70 таких случаев. Наиболее продолжительные и мощные смоги за все время измерений были зафиксированы в период с 3 по 9 ноября 2009 года и с 5 по 10 октября 2010 года. Максимальная среднечасовая концентрация, которая наблюдалась на ЗНС 7 августа с 18 до 19 часов превышала максимальную концентрацию, которая наблюдалась 8 ноября в Пекине в 2,3 раза, а в октябре 2010 года — в 2,7 раза. Вместе с тем, продолжительность смоговой ситуации была в Москве 4 суток, в Пекине в 2009 году 4,5 суток, а в 2010 году 5 суток.

Сопоставление данных о концентрации примесей в приземном воздухе двух мегаполисов позволяет уточнить механизмы накопления примесей и их удаления из воздушного бассейна города. Высокие уровни аэрозольного загрязнения, как в Пекине, так и в Москве только частично обусловлены городскими эмиссиями. Большая часть источников аэрозоля расположена вне города далеко за его пределами. Таким образом, подтвердилось предположение, выдвинутое в работе [3], что экстремально высокие концентрации примесей формируются на обширной территории вне мегаполиса.

Литература

1. Г.И. Горчаков, П.П. Аникин, А.А. Волох, А.С. Емиленко, А.А. Исаков, В.М. Копейкин, Т.Я. Пономарева, Е.Г. Семутникова, М.А. Свириденков, К.А. Шукуров. Исследование состава задымленной атмосферы г. Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2004. Т. 40. № 3. С. 366–380.
2. Т.П. Сафрыгина, А.С. Емиленко, В.М. Копейкин. Процесс трансформации аэрозоля в смогах региона Пекина. XIII международная конференция молодых ученых. Звенигород, 19–22 мая 2009 г. Тезисы докладов. С. 45.
3. Т.П. Сафрыгина, А.С. Емиленко, В.М. Копейкин. Особенности вариаций концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в Пекине. XIV всероссийская школа-конференция молодых ученых. Нижний Новгород, 18–21 мая 2010 г. Тезисы докладов. С. 45.

Решение векторного уравнения переноса в условиях разорванной облачности

О.В.Шагалов, В.П.Будак

Московский энергетический институт (технический университет), Москва

Несмотря на недоказанность существования условий возникновения парникового эффекта (ПЭ) на Земле, такая угроза существует, поэтому необходимо изучать содержание и распределение в атмосфере газов, вносящих вклад в ПЭ. Задача измерения распределения парниковых газов в атмосфере может быть эффективно решена только с использованием методов дистанционного зондирования (ДЗ) из космоса. В настоящее время на изучение этого вопроса направлены программы трех космических агентств — NASA (OCO), JAXA (GOSAT) и РОСКОСМОС (РУСАЛКА). Определение концентрации по поглощению газами отдельных линий спектра затруднено наличием у земной атмосферы рассеивающих свойств.

При этом точность определения концентрации углекислого газа в атмосферном столбе должна быть не хуже $\sim 1\%$. Не учет поляризации при ДЗ атмосферы приводит к погрешности в $\sim 10\%$. Такие требования накладывают соответствующие условия на измерительные приборы и моделирование сигналов спутниковых измерительных оптико-электронных систем. Поэтому при разработке математических моделей измерения содержания атмосферных газов необходимо решать векторное уравнение переноса излучения (ВУПИ), которое и описывает совместные процессы поглощения и рассеяния излучения в среде с учетом поляризации. Также должны быть учтены стратификация атмосферы, истинное поглощение, отражение подстилающей поверхностью и горизонтальная неоднородность.

В каждый момент времени как минимум половина планеты покрыта облаками, поэтому измерения часто приходится вести в разрывы между ними. При этом есть зоны, которые не являются ни чистой атмосферой, ни облаком. В них проявляются эффекты, оказывающие существенное влияние на сигнал, такие как [1]: увеличение яркости луча при отражении от близлежащих облаков; распознавание системой пикселя как «безоблачного» при наличии в поле зрения небольшого («подпиксельного») размера облака. Также, вблизи влажной среды облаков изменяются свойства аэрозоля, который играет существенную роль в рассеянии — увеличивается его оптическая глубина для коротких длин волн. С учетом этого для достижения точности в $\sim 1\%$ математическое моделирование следует проводить на разорванной облачности (RO).

Проблема разорванной облачности является сегодня для ДЗ одной из важнейших, однако большинство существующих алгоритмов обработки спутниковых данных ее не учитывает. Господствующим алгоритмом здесь

является приближение независимых пикселей — Independent Pixel Approximation.

В работе предложено решение для следующего случая: плоскопараллельный слой атмосферы, содержащий плоское облако с цилиндрическим отверстием.

Решение ВУПИ сводится к представлению интеграла рассеяния в виде конечной суммы, однако, вследствие лучевого приближения, которое является основой теории переноса излучения, в угловом распределении яркости имеется особенность, что не позволяет получить решение в виде конечного ряда. Для решения этой проблемы был предложен следующий подход [2] — представлять искомое поле яркости в виде суммы анизотропной части и регулярной добавки. При выделении анизотропной части используется малоугловая модификация метода сферических гармоник (МСГ) [2], основанная на свойстве медленного убывания спектра функции в случае, когда сама функция от своего аргумента изменяется быстро. Анизотропная часть находится в МСГ.

Для нахождения гладкой части используется метод конечных элементов, для чего ВУПИ представляется в виде интегрального уравнения Пайерлса, решением которого является ряд Неймана, что физически означает представление полного поля яркости в виде суммы яркостей соответствующей кратности рассеяния. Для вычисления этой суммы используется сетка, представляющая собой систему коаксиальных цилиндров, расположенных вокруг отверстия. В узлах сетки хранится дискретное значение яркости по фиксированному направлению, значения между узлами вычисляются путем интерполяции. Гладкая регулярная часть является медленно меняющейся функцией, что позволяет использовать более крупную сетку, тем самым существенно сократить время вычислений.

Литература

1. *Marshak A., Wen G., Coakley Jr. J.A., Remer L.A., Loeb N.G., Cahalan R.F.* A simple model for the cloud adjacency effect and the apparent bluing of aerosols near clouds // *J. Geophys. Res.* 2008. V.113. D14S17.
2. *Budak V.P., Klyuykov D.A., Korkin S.V.* Convergence acceleration of radiative transfer equation solution at strongly anisotropic scattering // *In Light Scattering Reviews 5: Single Light Scattering and Radiative Transfer* / Ed. A.A. Kokhanovsky. Springer Praxis Books, 2010. P.147–203.

Стохастический подход к прогнозу эволюции климатических систем по временным рядам: приложение к динамике явления Эль-Ниньо

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

Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород

Явление Эль-Ниньо (ENSO) является климатическим феноменом регионального масштаба, оказывающим существенное влияние на глобальные климатические процессы, а также коррелирующим с климатическими явлениями, происходящими в других частях Земного шара. К настоящему времени известно большое количество моделей различной сложности, построенных из первых принципов для описания динамики этого явления. В частности, используются детальные (полные) модели, основанные на глобальных моделях циркуляции атмосферы и океана, а также более простые модели, описывающие ключевые для данной системы обратные связи и взаимодействия, представляющие собой системы дифференциальных уравнений с запаздыванием с периодическим (годовым) внешним воздействием. Анализ структуры пространства параметров таких моделей показал, что в нем существуют области, соответствующие качественно различным динамическим режимам (как хаотическим, так и периодическим и устойчивым), имеющим, в том числе, сильно различающиеся количественные характеристики. Аналогичные режимы поведения были обнаружены и при анализе реально измеренной изменчивости явления Эль-Ниньо. Вынужденная грубость параметризаций, используемых в детальных моделях, наряду с врожденной высокой чувствительностью к начальным условиям и модельным параметрам, а также сложной нелинейностью и обратными связями, представляет главное препятствие использованию данных моделей для создания надежных методов прогноза критических переходов в эволюции системы. В то же самое время, пригодность более простых (концептуальных) моделей, построенных из первых принципов для прогноза будущей эволюции является не очевидной и не исследовалась.

Целью данной работы является исследование пригодности для построения прогноза стохастических моделей, построенных путем прямого анализа временных рядов без использования априорной информации о системе, лежащей в основе наблюдаемой динамики. Основная идея, лежащая в основе стохастического описания, направлена на решение проблемы корректной реконструкции оператора эволюции в случае высокой размерности исследуемой системы. Очевидно, что построение адекватной детерминированной модели невозможно в размерности, меньшей наименьшей размерности вложения аттрактора, поскольку в ней не существует однозначного оператора эволюции. Одним из возможных способов корректного описания этой неод-

нозначности может быть введение в динамику системы случайной компоненты, т.е. оператор эволюции в восстановленном фазовом пространстве считается стохастическим, содержащим как детерминированную, так и случайную компоненты. Динамические системы такого типа называют также случайными. В докладе для описания наблюдаемой высокоразмерной динамики и реконструкции ключевых свойств неизвестной исследуемой динамической системы предлагается использовать стохастические модели в форме случайных динамических систем. В основе такого подхода лежит гипотеза, согласно которой базовые динамические свойства системы, определяющие наблюдаемый режим поведения, могут быть описаны конечным числом степеней свободы, а остальные, не учтенные в этих уравнениях мелкомасштабные процессы, имеют вид стохастического возмущения, неоднородного по фазовому пространству.

В докладе представлены результаты качественного прогноза динамики явления Эль-Ниньо по временным рядам, сгенерированным моделями этого явления различной сложности. Проводится сравнительный анализ двух существующих на сегодняшний день подходов к построению стохастических моделей динамики климатических систем по временным рядам: (1) подход, основанный на методе эмпирической редукции модели, разработанный в UCLA, и (2) подход, основанный на построении дискретных стохастических моделей, параметризованных искусственными нейронными сетями, разработанный в ИПФ РАН.

Авторы

Аветисов А.К.	59	Емиленко А.С.	97
Агеева В.Ю.	24	Еськин Г.И.	34
Алоян А.Е.	15	Жерников К.В.	59
Анисимов С.В.	76, 77	Жидовкин Е.В.	58
Анисимов О.А.	95	Жильцова Е.Л.	95
Аниферов А.А.	25	Жучкевич В.В.	93
Антохин П.Н.	26, 27, 37, 58	Закиров А.А.	79
Арабов А.Я.	28	Иванов В.А.	36
Артамонова И.В.	92	Ивлев Г.А.	26, 27, 37, 58
Аршинов М.Ю.	26, 27	Караштин Д.А.	65
Аршинова В.Г.	27	Карелин А.В.	43, 75
Афиногенов К.В.	76	Кашлева Л.В.	80
Белан Б.Д.	26, 27, 58	Клименко В.В.	85
Белан С.Б.	26, 27, 37	Красильников А.А.	65
Беликов И.Б.	60	Козлов А.В.	26, 37, 58
Беликович М.В.	63	Коломеец Л.И.	80
Белоножко Д.Ф.	49, 84	Копейкин В.М.	41
Большаков О.С.	65	Корнева И.А.	39
Боровский А.Н.	28	Костров А.В.	86
Бородко С.К.	93	Кошелев М.А.	52
Боярчук К.А.	43	Кудринская Т.В.	81
Бручковский И.И.	29	Кузнецов А.А.	66
Будак В.П.	99	Куликов М.Ю.	67
Василенко Е.Л.	30	Куликов Ю.Ю.	66
Васильев Е.С.	13, 50	Кутерин Ф.А.	78, 83
Володин Е.М.	89	Ларин И.К.	18
Гаврилов А.С.	101	Локощенко М.А.	19, 30, 39, 45, 47, 56
Галиченко С.В.	77	Лоскутов Е.М.	67
Глазкова А.А.	32	Максютов Ш.	26, 27
Глядко П.С.	33	Малик Н.А.	21
Горбунов М.Е.	34, 90	Маулини А.Л.	68
Давыдов Д.К.	26, 27	Мареев Е.А.	70, 85
Демин В.С.	29	Маслов И.А.	23
Дмитриев Э.М.	74	Мельникова И.С.	41
Евтушенко А.А.	78, 83	Моисеенко К.Б.	21
Еланский Н.Ф.	12, 28, 39, 47, 56, 60	Монзикова А.К.	80
Елохов А.С.	28, 36	Морозов И.И.	13, 50
Ермаков А.Н.	17	Мохов И.И.	88

Мухин Д.Н.	62, 63, 65, 67, 101	Сухарева И.П.	59
Надольский А.В.	43	Третьяков М.Ю.	52
Никитина Н.Г.	45	Трифанова А.В.	56
Обвинцева Л.А.	59	Угольников О.С.	23
Очиров А.А.	84	Ужегова Н.В.	58
Паршин В.В.	52	Федосеев Л.И.	65
Перепёлкин В.Г.	39	Фейгин А.М.	63, 65, 67, 101
Пестунов Д.А.	26	Фокеева Е.В.	55
Полежаева И.Д.	47	Фофонов А.В.	26, 27, 58
Постыляков О.В.	36	Цыркина Т.Б.	59
Посудников О.В.	49	Черевань В.В.	80
Ракитин В.С.	55	Шагалов О.В.	99
Ренёва С.А.	95	Шаталина М.В.	85
Репина И.А.	25	Швецов А.А.	65
Савельева Е.С.	50	Шихова Н.М.	73, 77
Сафрыгина Т.П.	97	Шлюгаев Ю.В.	85
Серов Е.А.	52	Шумский Р.А.	60
Скалыга Н.К.	65	Янин Д.В.	86
Станкевич В.Ю.	53	Inoue G.	26, 27
Старикова Е.Н.	55	Machida T.	26, 27
Стрельченко Ю.Г.	95	Shimoyama K.	26, 27
		Sutoh H.	26, 27