

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ и НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ – ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
СТРАН СНГ
«АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ и ДИНАМИКА»
(МСАРД — 2009)**

22 – 26 июня 2009 г., г. Санкт — Петербург

Сборник тезисов

Санкт — Петербург

2009

СИМПОЗИУМ ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Российского фонда
фундаментальных исследований

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Почетный председатель

академик РАН Г.С. Голицын

1. Тимофеев Ю.М., председатель, СПбГУ, г. Санкт - Петербург, Россия
2. Чубарова Н.Е., зам. председателя, МГУ, г. Москва, Россия
3. Арефьев В.Н., ИЭМ, г. Обнинск, Россия
4. Басс Л.П., ИПМ РАН, г. Москва, Россия
5. Бобылев Л.П., Нансен-Центр, г. Санкт - Петербург, Россия
6. Борисов Ю.А., ЦАО, г. Долгопрудный, Россия
7. Гаврилов Н.М., СПбГУ, г. Санкт - Петербург, Россия
8. Горчаков Г.И., ИФА РАН, г. Москва, Россия
9. Гречко Е.И., ИФА РАН, г. Москва, Россия
10. Дмитриева-Арраго Л.Р., ГМЦ, г. Москва, Россия
11. Еланский Н.Ф., ИФА РАН, г. Москва, Россия
12. Задорожный А.М., НГУ, г. Новосибирск, Россия
13. Зега Э.П., ИФ им. Б.И. Степанова НАБ, г. Минск, Беларусь
14. Кораблев О.И., ИКИ РАН, г. Москва, Россия
15. Куницын В.Е., МГУ, г. Москва, Россия
16. Кутуза Б.Г., ИРЭ РАН, г. Москва, Россия
17. Мануйлова Р.О., СПбГУ, г. Санкт - Петербург, Россия
18. Мохов И.И., ИФА РАН, г. Москва, Россия
19. Нерушев А.Ф., ИЭМ, г. Обнинск, Россия
20. Осипов В.М., НИИКИ ОЭП, г. Сосновый Бор, Россия
21. Петрушин А.Г., ИЭМ, г. Обнинск, Россия
22. Погорельцев А.И., РГГМУ, г. Санкт - Петербург, Россия
23. Покровский О.М., ГГО, г. Санкт - Петербург, Россия
24. Пономарев Ю.Н., ИОА СОАН, г. Томск, Россия
25. Семенов А.И., ИФА РАН, г. Москва, Россия
26. Семенов А.О., СПбГУ, г. Санкт - Петербург, Россия
27. Смышляев С.П., РГГМУ, г. Санкт - Петербург, Россия
28. Спорышев П.В., ГГО, г. Санкт - Петербург, Россия
29. Троицкий А.В., НИРФИ, г. Н. Новгород, Россия
30. Успенский А.Б., НПО Планета, г. Москва, Россия
31. Фомин Б.А., ЦАО, г. Долгопрудный, Россия
32. Шефов Н.Н., ИФА РАН, г. Москва, Россия
33. Щукин Г.Г., ГГО, г. Санкт - Петербург, Россия
34. Юшков В.П., МГУ, г. Москва, Россия
35. Юшков В.А., ЦАО, г. Москва, Россия
36. Янковский В.А., СПбГУ, г. Санкт - Петербург, Россия

Организационный комитет Симпозиума МСАРД-09

1. Тимофеев Ю.М. – председатель Оргкомитета
2. Шульгина Е.М. – ученый секретарь
3. Михайлов Е.Ф.
4. Наумова Т.А.
5. Терехин Н.Ю.
6. Рышкевич Т.И.
7. Поберовский А.В.

Организаторы Симпозиума

Санкт - Петербургский Государственный Университет
Физический факультет СПбГУ (головное учреждение)
Российская комиссия по атмосферной радиации
Институт физики атмосферы РАН им. А.М. Обухова
Главная Геофизическая Обсерватория им. А.И. Воейкова
Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию
им. Нансена
Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт
НПО "Планета"
Институт физики им. П.Н. Лебедева
МГУ им. М.В. Ломоносова
Институт космических исследований РАН
Институт оптики атмосферы СО РАН
Институт Экспериментальной Метеорологии

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Современные и ожидаемые изменения климата России в XXI веке

Мелешко В.П. (meleshko@main.mgo.rssi.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Данные наблюдений показывают, что в последние десятилетия 20-го и начале 21-го века климат земного шара стал заметно меняться. Рассматриваются основные причины естественного и антропогенного происхождения, которые могут вызывать изменения глобального климата. Имеются убедительные свидетельства того, что главной причиной этих изменений является хозяйственная деятельность человека и связанные с ней выбросы парниковых газов в атмосферу. Обсуждаются вопросы накопления этих газов в атмосфере и оценивается их радиационное воздействие на климата.

В настоящее время существует ряд альтернативных гипотез, объясняющих современное потепление климата, а в ряде случаев даже предстоящее его похолодание, обусловленное естественными причинами. На основании имеющихся данных наблюдений показана их научная необоснованность.

Климат России характеризуется чрезвычайным разнообразием благодаря размерам ее территории. Рассматриваются современные изменения и изменчивость климата России, полученные по наблюдениям и расчетам с помощью физически полных моделей и показано, что расчетные тренды потепления хорошо согласуются с данными наблюдений для всей территории России, в целом.

Показано, что оценки изменения климата России до середины XXI века слабо зависят от выбора сценариев SRES роста парниковых газов и аэрозоля. Обсуждаются вероятные изменения климата (температуры приземного воздуха, осадков, годовых стоков и др.) на территории России в XXI веке, основанные на результатах расчетов с помощью ансамбля объединенных моделей атмосферы-океана-криосферы CMIP3. Помимо оценок средних изменений климата по мультимодельному ансамблю приводятся сведения о стандартных отклонениях и уровне значимости для отдельных характеристик в середине и конце XXI века.

В заключении обсуждаются возможные благоприятные и негативные последствия потепления климата в отдельных регионах Российской Федерации.

О возможности компенсации парникового потепления серноокислым аэрозольным экраном: исследование влияния параметров распределения аэрозольных частиц по размерам

Фролькис В.А. (VFrolkis@vf13868.spb.edu)

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-Красноармейская 4, 190005 С.-Петербург, Россия

Кароль И.Л. (Karol@main.mgo.rssi.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Многие исследователи предполагают, что парниковое потепление последних десятилетий обусловлено выбросами антропогенных газов. Рост антропогенных выбросов, вероятно, будет продолжаться и может привести к катастрофическим климатическим последствиям в будущем. Теория показывает, что парниковые газы и стратосферный серноокислый аэрозоль могут оказывать разнонаправленное воздействие на радиационный режим. В этой ситуации возникает естественный вопрос: нельзя ли попытаться

скомпенсировать парниковое потепление, создав искусственный аэрозольный слой (экран) в стратосфере. Впервые эту тему поднял М.И. Будыко, предлагая рассмотреть возможность распыления сернистого аэрозоля в стратосфере. Проведение подобных исследований требует применения достаточно сложных климатических моделей. Поэтому, учитывая многообразие факторов, определяющих поведение климатической системы, и сложность взаимосвязей между ними, представляется разумным сначала рассмотреть более простую проблему: компенсацию парникового потепления при моделировании радиационного баланса.

Чтобы понять, какими свойствами должен обладать сернистый аэрозольный экран для наиболее эффективного отражения падающей на Землю солнечной радиации, следует определить, в каких географических регионах и на какую высоту целесообразно выбрасывать аэрозоль, а также какими оптическими свойствами должен обладать ансамбль аэрозольных частиц. Для ответа на эти вопросы проведены численные эксперименты с двухмерной радиационно-конвективной энергобалансовой климатической моделью. В расчетах в слой стратосферы, расположенный над тропопаузой, помещается 75%-ный сернистый аэрозоль, оптические свойства которого берутся из WCP-112. Аэрозоль распыляется либо равномерно по всему земному шару, либо по симметрично расположенным широтным поясам, либо по широтным поясам только в северном полушарии. Оптическая толщина аэрозольного слоя подбирается таким образом, чтобы компенсировать обусловленные парниковыми газами: а) мгновенный радиационный форсинг; б) изменение мгновенного интегрального уходящего потока излучения; в) изменение мгновенного интегрального падающего на поверхность потока излучения; г) модельное изменение температуры поверхности.

Исследуются оптические свойства аэрозольного ансамбля, в частности, его оптическая толщина и масса, мгновенный и приспособленный форсинг и отраженное в космос солнечное излучение, в зависимости от распределения аэрозольных частиц по размерам. Рассматриваются модифицированное гамма и логарифмическое нормальное распределения частиц по размерам. Оптические свойства аэрозольного ансамбля, его коэффициент ослабления, альbedo однократного рассеяния и средний косинус индикатрисы рассеяния, необходимые для вычисления радиационных потоков, вычисляются на основании теории Ми.

Для логарифмически нормального распределения стратосферного 75%-ного сернистого аэрозоля по размерам рассмотрены параметр положения (медиана) от 0.05 до 0.5 мкм и параметр формы («ширины» распределения) от 1.1 до 2.5 мкм. Оценки показывают существенную зависимость массы аэрозольного слоя при его заданной оптической толщине от параметров распределения. Найдены оптимальные параметры распределения, обеспечивающие минимальную массу аэрозольного слоя при его максимальных способностях экранировать солнечную радиацию. Оптимальными являются значения медианы 0.3 мкм и параметра формы 1.1 мкм, им соответствует масса аэрозольного слоя порядка 4.750 Мт при его оптической толщине 0.26. Соответственно эффективный и средний радиусы порядка 0.3 мкм, среднее квадратичное отклонение 0.03 мкм, эффективное поперечное сечение 0.29 мкм^2 и эффективный объем 0.12 мкм^3 аэрозольной частицы.

Приведенный параметр формы обеспечивает узкополосное распределение по размерам. Его увеличение ведет к росту рассеяния в инфракрасной области спектра, которое может приводить к значениям 0.30–0.45 альbedo однократного рассеяния при медиане 0.4–0.5 мкм и параметре формы 2.0–2.5 мкм. В этом случае возникает дополнительная парниковая составляющая сернистого аэрозоля, которая может быть скомпенсирована дальнейшим увеличением его массы. Таким образом, целесообразно использование узкополосных аэрозольных распределений частиц по размерам.

Моделирование взаимосвязанных изменений газового состава и динамики средней атмосферы

Смышляев С.П. (smyshl@rshu.ru)

*Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196
Санкт-Петербург, Россия*

Галин В.Я.

Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 119333 Москва, Россия

Исследуются одновременные межгодовые изменения температуры нижней стратосферы и содержания атмосферного озона в умеренных и полярных районах. Для анализа взаимосвязи между длиннопериодными изменениями теплового режима и газового состава стратосферы используется интерактивная трехмерная химико-климатическая модель, объединяющая модели газового состава и общей циркуляции нижней и средней атмосферы.

Результаты исследования показали, что взаимное влияние долгопериодной изменчивости температуры и газового состава атмосферы по-разному сказывается в полярных и умеренных широтах. В умеренных широтах отмечаются два основных эффекта. 1. Наблюдаемое охлаждение нижней стратосферы не является прямым следствием сокращения содержания озона и соответствующего уменьшения нагрева стратосферы. 2. Уменьшение температуры стратосферы ведет к замедлению скоростей химических реакций разрушения озона, главным образом в азотных каталитических циклах, с результирующим увеличением содержания озона, что создает эффект влияния сокращения антропогенных выбросов хлорфторуглеродов и галлонов на восстановление озона, хотя содержание хлора и брома в атмосфере практически не изменялось в последние годы. В полярных районах, во-первых, межгодовые изменения температуры и газового состава происходят быстрее, за счет своеобразного «ускорения», связанного с изменением типа подстилающей поверхности (снежного и ледового покрытия), а, во-вторых, уменьшение температуры стратосферы в большей степени влияет на формирование сульфатного аэрозоля и полярных стратосферных облаков, чем на скорости газофазных химических реакций, в результате чего содержание озона в полярных районах не показывает тенденцию к восстановлению, как в умеренных широтах, а продолжает уменьшаться.

Планетарные волны в системе общей циркуляции атмосферы и гидрологическом цикле Марса

Родин А.В. (Alexander.Rodin@phystech.edu), Евдокимова Н.А., Бурлаков А.В., Рыбакова А.К.

*Московский физико-технический институт, Институтский пер. 9, 141700 Долгопрудный, Моск. обл.,
Россия*

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

Федорова А.А.

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

Уилсон Дж.

Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton, NJ, USA

На основе модели общей циркуляции атмосферы с динамическим ядром FMS построена самосогласованная модель климата Марса, учитывающая радиационные и микрофизические процессы в пылевых и конденсационных облаках и водообмен атмосферы с поверхностными и подповерхностными резервуарами. Модель предсказывает значительный вклад стационарных планетарных волн с волновыми числами 2 и 3 в меридиональный перенос пассивных примесей, в том числе воды в различных фазах. Этот вывод подтверждается данными наблюдений, указывающих на крупномасштабную зональную модуляцию в распределении водяного пара в атмосфере, а также конденсированной воды в облаках и на подстилающей поверхности. Ярko выраженная

сезонная динамика в характере волнового переноса связана, по-видимому, с генерацией планетарных волн в результате инерционной неустойчивости в экстратропических и циркумполярных струйных течениях в результате сезонно детерминированных изменений меридионального сдвига скорости.

Работа поддержана грантом РФФИ 07-02-00850-а.

Лидарная сеть стран СНГ (CIS-LINET)

Иванов А.П. (ivanovap@dragon.bas-net.by), Чайковский А.П.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Белоруссия

Изменения климата и глобальное загрязнение окружающей среды вошли в число приоритетных проблем современного общества и будут оставаться таковыми в обозримом будущем. Контроль примесей в атмосфере Земли является необходимой предпосылкой для обнаружения изменений в окружающей среде и оценки эффективности дорогостоящих природоохранных мероприятий. Лазерные локационные системы (лидары) широко применяются для дистанционного мониторинга атмосферы. В мире начался процесс формирования региональных лидарных сетей. В 2000 г. была создана Европейская лидарная сеть EARLINET. Одновременно, в Юго-Восточной Азии сформировалась региональная лидарная сеть AD-Net. Для изучения процессов крупномасштабного переноса загрязнений на пространстве Евразийского континента возникла актуальная потребность в формировании лидарной сети в странах СНГ.

Большие научные коллективы ученых Беларуси, России, Киргизии в период 2004–2007 гг. объединили ресурсы для решения крупной задачи – организации координированных лидарных исследований и создания лидарной сети в СНГ. В настоящее время наблюдения в лидарной сети осуществляются в рутинном режиме. Проведена глубокая техническая модернизация лидарного оборудования, созданы новые лидарные системы и разработаны унифицированные аппаратные блоки. Накопленный опыт по зондированию атмосферы в среднем ИК диапазоне и разработке лазеров этого диапазона позволил целенаправленно подойти к созданию малогабаритных приборных образцов мощных инфракрасных лазерных систем с уникальными спектральными параметрами для решения важных экологических проблем дистанционного газоанализа. В результате технический уровень станций CIS-LiNet стал соответствовать требованиям наиболее развитой региональной Европейской лидарной сети EARLINET. Для обеспечения однородности получаемых данных в CIS-LiNet была проведена разработка интегрированного программного обеспечения для обработки данных лидарного зондирования от записи регистрируемых лидарных сигналов до представления результатов расчетов параметров атмосферных компонентов в базу данных. Особенностью процедуры наблюдений в CIS-LiNet является ориентация на проведение одновременных фотометрических измерений интегральных характеристик атмосферного слоя с помощью прибора Cimel мировой радиометрической сети AERONET. Объединение информационных возможностей лидарных и радиометрических систем позволило создать более совершенные методики обработки экспериментальных данных и получить новые сведения о микроструктуре атмосферных примесей. Созданная лидарная сеть включает семь стационарных лидарных станций в Беларуси (Минск), России (Москва, Сургут, Томск, район оз. Байкал, Владивосток), и Киргизии (п. Теплоключенка, горный район)

В сотрудничестве с Европейской (EARLINET) и Азиатской (Ad-Net) лидарными сетями проведены исследования крупномасштабной изменчивости атмосферных компонентов и их переноса на Евразийском континенте. Разработана оптическая модель аэрозоля в тропосфере. Выявлены закономерности крупномасштабных изменений аэрозоля и озона в стратосфере. Предложены методы контроля процессов трансграничного переноса загрязнений с применением дистанционных и локальных, наземных и спутниковых измерительных систем. Разработаны статистические методы анализа данных наблюдений

совместно с результатами моделирования переноса воздушных масс, позволившие построить карты пространственного распределения источников выбросов. Выявлен и оценен ряд наблюдавшихся аномальных загрязнений атмосферы Евро-Азиатского региона; предложены способы оценки зон влияния и источников загрязнения на различные районы.

Наряду с большим научным значением данных о динамике атмосферных компонентов, собираемых, анализируемых и предоставляемых научному сообществу в результате деятельности CIS-LiNet, формирование наблюдательной сети на пространстве СНГ создало новый механизм для решения региональных и национальных экологических задач.

Для распространения результатов работ в CIS-LiNet создан информационный сайт.

Поле озона над территорией РФ: результаты 35 лет измерений общего содержания озона на сети Росгидромета

Шаламянский А.М. (ozon@peterlink.ru)

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург,
Россия*

Регулярные наблюдения общего содержания озона (ОСО) на территории СССР были начаты в конце 1950-х на пяти станциях. В конце 1960-х сеть станций увеличилось до 45. Тем не менее, началом мониторинга ОСО на уровне, соответствующем требованиям мировой озонной сети, следует считать 1973 г., поскольку к этому времени были усовершенствованы фильтровые озонметры М-83 и методика измерений. В середине 1980-х озонметр М-83 был заменен озонметром М-124, в котором остался неизменным оптический блок. За период перестройки удалось сохранить в рабочем состоянии практически всю озонную сеть РФ и Казахстана.

Использование на сети единой методики наблюдений, постоянный контроль шкалы измерений позволяют получать данные ОСО с высокой степенью надежности. По разработанной в ГГО методике наблюдения проводятся при низких высотах Солнца и при облачном небе, что существенно увеличило объем получаемых данных, прежде всего для станций высоких широт. Озонметры М-124 работают на станциях более 25 лет, измерения продолжаются за счет модернизации и постоянного контроля за работой приборов.

Для оснащения сети современной аппаратурой в ГГО разработан ультрафиолетовый озонный спектрометр (УФОС), который позволяет регистрировать спектральный состав УФР в диапазоне 290–400 нм с разрешением около 1 нм и проводить измерения ОСО. Источниками света являются Солнце, сектор в зените неба, полусфера неба. По своим характеристикам УФОС полностью соответствует требованиям ВМО к приборам для измерения ОСО и УФР. Экспериментальные образцы УФОС проходят испытания на станциях в Воейково, Мурманске и Цимлянске.

Длительность рядов наблюдений ОСО на озонной сети РФ, выполненных по одной методике, одним типом приборов, к настоящему времени составляет 35 лет. Однородность полученных рядов позволила рассчитать «нормы» – средние многолетние (1973–2002 гг.) значения ОСО для пяти регионов РФ. Многолетние ряды отчетливо проявили существенные меридиональные различия в амплитуде и фазе сезонного хода ОСО на территории РФ. Наличие норм позволяет объективно оценить долговременные изменения толщины защитного озонного слоя, тренды и тенденции в содержании озона за 35-летний период. Значительное уменьшение ОСО над территорией РФ продолжалось с конца 1970-х до середины 1990-х. Минимум ОСО сменился ростом озона почти до нормы в начале 2000-х. Ход ОСО в начале 21-го века отмечен значительными межгодовыми колебаниями. Такого же рода многолетние вариации ОСО в умеренных и полярных широтах Северного полушария были отмечены и мировой озонной сетью.

В тоже время в западных и восточных регионах РФ многолетние вариации ОСО между собой существенно различались. Сопоставление вариаций поля ОСО с макромасштабными

синоптическими процессами в верхней тропосфере и нижней стратосфере позволило выявить устойчивую взаимосвязь между ними в любом временном масштабе. Связь расположения участков поля с высоким или низким содержанием озона с ложбинами и гребнями поля геопотенциала на уровнях 200–300 гПа оказалось настолько тесной, что ее можно было использовать для контроля за качеством измерений ОСО на станциях. При необходимости эти связи могут быть использованы для краткосрочного прогноза поля озона. С другой стороны, процесс сезонных изменений в поле озона над умеренными и полярными широтами Северного полушария можно проследить, сопоставляя их с расположением в нижней стратосфере двух основных высотных образований – циркумполярного вихря и высотного тихоокеанского антициклона.

Процессы переноса в ветропесчаном потоке на опустыненных территориях

Горчаков Г.И. (gengor@ifaran.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Ветропесчаный поток представляет собой сложное нестационарное явление, в котором динамические, радиационные, электрические и другие процессы тесно связаны друг с другом. Важность исследования ветропесчаного потока определяется тем, что через него в значительной степени осуществляется взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью на опустыненных территориях. Для теории климата существенно то, что благодаря воздействию ветропесчаного потока на подстилающую поверхность генерируется минеральный аэрозоль, который заметно влияет на радиационный режим атмосферы в глобальном масштабе. Опубликовано много работ по глобальному и региональному переносу минерального аэрозоля. Однако характеристики процесса выноса аэрозоля с подстилающей поверхности изучены недостаточно. В частности, до сих пор недостаточно данных о функции распределения по размерам частиц аэрозоля, генерируемого на подстилающей поверхности.

На опустыненных территориях вынос аэрозоля с подстилающей поверхности преобладает над процессом сухого осаждения. Важным признаком процесса генерации аэрозоля являются сильные флуктуации счетных концентраций частиц. При генерации минерального аэрозоля флуктуации частиц разных размеров тесно коррелируют друг с другом. Интенсивность генерации аэрозоля на опустыненных территориях определяется непосредственно по данным измерений вертикальных турбулентных потоков: счетных, массовых и нормированных (скорости выноса). Всплески генерации аэрозоля обусловлены порывами ветра, когда скорость ветра в приземном слое атмосферы превышает пороговую, а вынос аэрозоля из приповерхностного слоя атмосферы обеспечивается турбулентностью и конвекцией. Особый интерес представляет вихревой вынос аэрозоля [1].

Основным механизмом генерации аэрозоля на опустыненных территориях принято считать сальтацию. Сам процесс сальтации изучен недостаточно. В частности, недостаточно изучены флуктуации функции распределения сальтирующих песчинок по размерам [2]. Закономерности переноса сальтирующих песчинок в приповерхностном слое атмосферы существенно отличаются от закономерностей переноса частиц в вышележащих слоях атмосферы. Процесс сальтации сопровождается переносом тепла сальтирующими песчинками. Вертикальная компонента сальтационного потока тепла в приповерхностном слое атмосферы сравнима по величине с турбулентным и молекулярным потоками тепла.

Интересной особенностью ветропесчаного потока является его аномально высокая электризация. В нижнем слое сальтации наблюдались значения напряженности электрического поля больше 100 кВ/м. Значения плотности квазигоризонтальных электрических токов сальтации достигают нескольких единиц микроампер на квадратный

метр. Электрические процессы, по-видимому, играют важную роль в явлениях сальтации и генерации аэрозоля на подстилающей поверхности.

Определенный прогресс в исследовании ветропесчаного потока был достигнут благодаря экспериментальным исследованиям, проводимым Институтом физики атмосферы А.М. Обухова РАН на опустыненных территориях в Калмыкии и в Астраханской области.

1. Горчаков Г.И., Копров Б.М., Шукуров К.А. Вихревой вынос субмикронного аэрозоля. *Изв. РАН, ФАО*, 2003, **39**, 5, 596–608.
2. Горчаков Г.И., Титов А.А., Бунтов Д.В. Параметры слоя сальтации на опустыненной территории. *Доклады АН*, 2009, **424**, 1, 102–106.

Оксид углерода и метан в тропосфере: спутниковые данные и их валидация

Юрганов Л.Н. (yurganov@umbc.edu), Макмиллан У.У.

Мэрилендский университет графства Балтимор, Хиллтон роуд 1000, 21250 Балтимор, Мэриленд, США

Гречко Е.И., Джола А.В.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

С марта 2000 года прибор MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere) и с сентября 2002 года спектрометр AIRS (Atmospheric IR Sounder) проводят регулярные измерения оксида углерода (CO) и метана (CH₄), основанные на анализе спектров собственного излучения атмосферы вблизи 4.6 мкм (CO) и 7.6 мкм (CH₄). Измерения CO к настоящему времени прошли валидацию с помощью как локальных отборов проб с самолета, так и с помощью наземных спектрометров, использующих Солнце в качестве источников света. Измерения метана еще требуют тщательной проверки.

В докладе приведены данные валидации общих содержаний CO в атмосфере на основе сравнений с регулярными спектроскопическими измерениями на сети NDACC и на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы. Показано, что точность спутниковых измерений зависит от содержания информации в спектре (числа степеней свободы, ЧСС); при ЧСС < 0.7 вклад априорной информации в измеренное содержание увеличивается настолько, что случайная ошибка начинает превышать 10 %. Кроме того, обнаружены систематические сдвиги, также в пределах 10 %. Особенно важно, что в случае данных MOPITT сдвиг возрастает со временем со скоростью около 1.3 % в год. После внесения этих поправок аномалии глобальной массы CO в атмосфере для двух приборов приходят в хорошее согласие ($R^2 = 0.80\sigma$, $STD = 1.58\sigma$, систематический сдвиг отсутствует). Обнаружена сильная зависимость массы CO в атмосфере, как в глобальном, так и в региональном масштабе, от лесных и степных пожаров. Крайне редкий случай переноса загрязненных масс воздуха от Сибирских пожаров в район Москвы через Арктику наблюдался летом 2006 года. Начиная с августа 2008 года глобальная масса окиси углерода упала за три месяца примерно на 10 %. Имея в виду, что согласно измерениям спутникового прибора MODIS количество и интенсивность пожаров, по крайней мере, не упала (скорее возросла), это падение отражает уменьшение выбросов CO, связанное с глобальным экономическим кризисом.

Проведен анализ измерений метана прибором AIRS. Ввиду малых вариаций содержания метана (порядка 2 – 3 %), обычные методики обработки спектров наземных спектрометров мало пригодны для валидации. На первом этапе были проведены сравнения спутниковых измерений с приземными измерениями Института атмосферной оптики (Томск) на 6 станциях в Западной Сибири. Обнаружено полное совпадение по времени сезонных ходов, измеренных со спутника и на поверхности, с максимумом в июле, что совпадает с температурным максимумом. Амплитуда сезонного хода, измеренного AIRS, как и следовало ожидать, в пять раз меньше, чем у земли. Эти данные согласуются с представлением о том, что в Западной Сибири основным источником метана является жизнедеятельность бактерий

в анаэробных условиях. В сентябре каждый год повышенные содержания метана сдвигаются в северном направлении, включая тундру и Северный Ледовитый океан. В течение 2007–2008 годов наблюдался рост глобального содержания метана как в Северном, так и в Южном полушариях. Максимум аномалии CH_4 в Северном полушарии пришелся на сентябрь 2008 года. Предполагается, что в течение последних двух лет потепление Арктики и сокращение ледового покрова Северного Ледовитого океана привели к оживлению микробной активности в верхнем слое вечной мерзлоты в Восточной Сибири и в тундре вдоль побережья океана. Нельзя исключить также и освобождение газа вследствие таяния гидратов метана.

Особенности поля ветра в тропосфере по данным зондирования с геостационарных метеорологических спутников

Нерушев А.Ф. (nerushev@typhoon.obninsk.ru)

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Крамчанинова Е.К. (alexpr11@yandex.ru)

НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

На основе разработанного авторами метода восстановления динамических характеристик атмосферы по данным зондирования с геостационарных метеорологических спутников выполнены расчеты полей вектора скорости горизонтального ветра ($\mathbf{V}$), коэффициента горизонтальной мезомасштабной турбулентной диффузии ($\mathbf{Kd}$) и завихренности ($\text{rot}\mathbf{V}$) в средней и верхней тропосфере (слой с давлением p в диапазоне 200–650 гПа) для различных атмосферных условий, в том числе в зонах опасных атмосферных явлений (циклоны тропических и умеренных широт, струйные течения и др.). Экспериментальной основой исследования служили данные зондирования атмосферы на длинах волн 6.2 мкм и 7.3 мкм (каналы водяного пара радиометра SEVIRI) с европейских геостационарных метеорологических спутников второго поколения Meteosat-8 и Meteosat-9 с временным интервалом 15 мин и пространственным разрешением в подспутниковой точке 3 км.

Приведены оценки точности метода определения указанных динамических характеристик атмосферы путем сравнения рассчитанных значений с данными независимых измерений или классических теоретических моделей.

Существенно новым элементом в разработанном методе является определение коэффициента горизонтальной мезомасштабной турбулентной диффузии. Эта характеристика широко применяется в различных прогностических схемах (прогноза погоды, эволюции интенсивных атмосферных вихрей и др.). Знание пространственного распределения и временной изменчивости $\mathbf{Kd}$ позволяет выявлять и прогнозировать зоны повышенной турбулентности и связанные с ней области болтанки самолетов. Проанализировано пространственное распределение $\mathbf{Kd}$ в средней и верхней тропосфере для всего видимого диска Земли ($\pm 50^\circ$ от подспутниковой точки) для различных сезонов. Выявлены области повышенной турбулентности, связанные, как правило, с зонами струйных течений. Детально исследована структура и временная эволюция этих областей. Максимальные значения $\mathbf{Kd}$ по результатам расчетов достигают в них величины $6 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{с}$ и в 8–10 раз превосходят фоновые значения. Эти области вытянуты вдоль границы струйного течения, а их характерные размеры лежат в пределах от 100 км x 50 км до 2000 км x 600 км. Характерные времена «жизни» таких областей колеблются в пределах от 0.5 часа до нескольких часов.

Анализ пространственно-временной изменчивости динамических характеристик атмосферы в зонах струйных течений выявил следующие особенности. Поле $\mathbf{V}$ меняется наиболее медленно. Зоны повышенных значений $\mathbf{Kd}$ меняют свою конфигурацию, в них появляются и мигрируют отдельные центры локальных максимумов $\mathbf{Kd}$. Наиболее

существенные пространственно-временные изменения наблюдаются в поле завихренности (rotV).

Детально исследованы динамические характеристики средней и верхней тропосферы в зонах зарождения и развития тропических циклонов (ТЦ) Северной Атлантики 2006–2008 годов. На стадиях тропического шторма и урагана заметно усиливается турбулентность в верхней тропосфере (область высот $\sim 7\text{--}9$ км): K_d возрастает приблизительно в 1.5–2 раза по сравнению со стадией тропической депрессии. Появляются области повышенной положительной и отрицательной завихренности с характерными масштабами 200–300 км. При этом на стадии урагана мезомасштабные области отрицательной завихренности заметно преобладают и располагаются в зонах повышенной турбулентности в передней полуплоскости на расстоянии приблизительно 500–1000 км от центра ТЦ.

Обсуждаются вопросы определения поля ветра в стратосфере по данным зондирования в полосе поглощения озона 9.7 мкм.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 06-05-64317 и № 08-05-00885).

Исследование глобального поля облачности с использованием спектрометра SCIAMACHY

Кохановский А.А. (alexk@iup.physik.uni-bremen.de), Розанов В.В.

Институт физики окружающей среды, Бременский Университет, Германия

Спектрометр SCIAMACHY предназначен для решения задач атмосферной химии. В частности, он используется для определения концентраций атмосферных газов (О). Измерения проводятся в диапазоне 240–2380 нм с разрешением 0.2–1.5 нм в зависимости от спектрального интервала. Пространственное разрешение прибора зависит от используемого канала и в большинстве случаев равно 30 км x 60 км.

Для улучшения точности восстановления горизонтального распределения концентраций газов необходим учет облачности. Облачность не только уменьшает чувствительность аппаратуры к концентрации малых газовых составляющих в приземном слое атмосферы, но также увеличивает пробеги фотонов внутри облака и подсветку стратосферы снизу. Таким образом, информация о положении верхней границы облачности, альbedo облаков и их оптической толщине является существенным элементом алгоритмов обработки спутниковых данных, разрабатываемых с целью определения концентраций парниковых газов и соответствующих временных трендов.

В данной работе рассматриваются алгоритмы восстановления параметров облачности, разработанные в Бременском Университете. Представлены не только физические принципы, используемые в задачах обращения, но также и результаты обращения за весь период работы SCIAMACHY с момента его запуска (2002 г.).

Рассмотрены такие параметры облачности, как оптическая и геометрическая толщины, положение верхней границы облака, средний размер капель, водозапас, фазовое состояние и альbedo облачности.

Моделирование глобального радиационного поля Земли как гетерогенной сферической системы и супервычисления

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В., Фомин Б.А., Волкович А.Н., Гаврилович А.Б., Краснокутская Л.Д., Андрианов А.Н., Ефимкин К.Н.
Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия.

Радиационное поле Земли – одна из определяющих компонент климата, экосистемы и жизнеобеспечения. Составной частью исследований опасных явлений и экологических последствий естественно-природных катастроф и техногенных чрезвычайных ситуаций является разработка информационно-математической системы и создание программного визуально-диагностического обеспечения для математического моделирования переноса излучения, аэрокосмического дистанционного зондирования и мониторинга, анализа и прогнозирования на основе "сценариев". Для решения таких проблем традиционно используются самые большие ЭВМ, в том числе суперкомпьютеры (2004 год – фирма IBM в США по заказу NASA; Япония, Германия и др).

Более 40 лет назад Т.А. Сушкевич разработала первую в мире модель переноса солнечного излучения в сферической атмосфере Земли в масштабах планеты (расчет одного варианта на БЭСМ-6 длился около 300 часов) [1], на основе которой были получены пионерские результаты по дистанционному зондированию аэрозольных и озоновых слоев, а также решены многие прикладные задачи освоения космического пространства и становления космических исследований. Эта модель в последние годы приобрела актуальность в связи с исследованиями глобальной климатической системы и признанием существенного влияния (вклад до 40 %) радиационного форсинга на эту систему.

Предлагается оригинальный универсальный математический аппарат для моделирования переноса излучения в многослойных неоднородных гетерогенных природных средах с существенно различными радиационными режимами в отдельных областях 1D, 2D или 3D сферической системы. Гетерогенной является, например, система "свободная атмосфера-многоярусная облачность-приземный слой атмосферы-океан (суша)". Подход основан на построении обобщенных решений в форме матричных функционалов, ядрами которых являются векторы функций влияния отдельных слоев системы. При этом функции влияния слоев с различными аэрозольными и молекулярными характеристиками рассеяния и поглощения и радиационными режимами можно рассчитывать разными методами в разных приближениях теории переноса излучения.

Такая постановка задачи приобретает также актуальность в связи с проблемами фоторадиационной химии атмосферы (тропосферы, стратосферы и озоносферы в условиях сумерек, зари, терминатора, полярных регионов); информационного обеспечения томографии атмосферы Земли, в том числе рефрактометрическими методами и космическими системами, работающими в условиях наблюдений по горизонтальным трассам; дистанционного зондирования полярных регионов; созданием моделей спектрально-радиационного баланса Земли; фазовой яркости Земли для приборов космической навигации (возврат КА на Землю, навигация КА по Земле и т.п.); реализацией проектов дополнительных источников энергии на КА путем использования солнечного излучения, отраженного Землей и т.д.

Новые возможности предлагаемой модели связаны с верификацией инженерных прикладных методик и приближения плоских слоев, массово используемых для экспресс-анализа космических данных и в радиационных блоках для моделей климата, циркуляции, прогноза, фотохимической кинетики, динамики озоносферы, трансграничного переноса загрязнений воздушного бассейна и т.д.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 09-01-00071, 08-01-00024).

1. Сушкевич Т.А. Осесимметричная задача о распространении излучения в сферической атмосфере. *Отчет № О-572-66*. М.: ИПМ АН СССР, 1966, 180 с.
2. Сушкевич Т.А. *Математические модели переноса излучения*. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005, 600 с.

Состояние и перспективы весового статистического моделирования стохастических задач теории переноса излучения

Каргин Б.А. (bkargin@osmf.sccc.ru)

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, пр. академика
Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия*

Рассматриваются вопросы статистического моделирования переноса оптической радиации в стохастических рассеивающих и поглощающих средах. Оптические параметры таких сред являются случайными функциями пространства и времени. Стандартный подход к решению таких задач методом Монте-Карло основывается на принципе "двойной рандомизации", заключающемся в построении численных реализаций случайных полей оптических параметров рассеивающих сред и последующем моделировании случайных траекторий фотонов для полученных реализаций. Применяются в основном три группы алгоритмов численного построения реализаций случайных полей оптических параметров: так называемые "поточные" алгоритмы, предназначенные для построения кусочно-постоянных реализаций трехмерных случайных полей; спектральные модели, позволяющие строить непрерывные реализации трехмерных случайных полей; пуассоновские модели, используемые для построения реализаций дискретных (разорванных) трехмерных случайных полей. Численное построение реализаций случайных полей для всех трех групп алгоритмов требует больших вычислительных затрат, а моделирование траекторий в полученных случайных средах во многих случаях является сложной и трудоемкой задачей.

В докладе представлены весовые алгоритмы, позволяющие оптимизировать моделирование на основе метода "зависимых испытаний". При таком подходе траектории фотонов строятся для специальным образом подобранной детерминированной среды, а случайные вариации оптических параметров среды учитываются с помощью специальных весовых множителей. Предложенные алгоритмы в основном предназначены для разработки численных моделей полей оптической радиации в случайно-неоднородной облачности.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проекты 08-01-00846-а и 09-01-00035-а), ОМН РАН (проект 1.3.2), СО РАН (проекты 2.4 и 2.2-2).

Совместная обработка данных самолетной гиперспектрометрической аппаратуры и наземных лесотаксационных обследований выбранной территории

Козодеров В.В. (vkozod@mes.msu.ru), Асташкин А.А., Бобылев В.И., Борзяк В.В.,
Дмитриев Е.В., Егоров В.Д., Каменцев В.П., Кондранин Т.В., Сушкевич Т.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 119991 Москва,
Россия*

Проведена адаптация разработанного ранее алгоритмического и программного обеспечения обработки многоспектральных изображений аппаратуры «Видеоспектрорадиометр среднего разрешения» (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer/MODIS) спутника Terra и аппаратуры «Усовершенствованный тематический картограф» (Enhanced Thematic Mapper/ETM+) спутника Landsat-7 для обработки данных летных испытаний гиперспектрометра (разработка НПО «Лептон», г. Зеленоград) для выбранных тестовых участков Тверской области. Входные данные унифицированных расчетных программ: многоспектральные изображения аппаратуры MODIS (7 спектральных каналов; пространственное разрешение около 500 м), аппаратуры ETM+ (6 спектральных каналов; пространственное разрешение около 30 м), гиперспектральные изображения (около 200 спектральных каналов; пространственное разрешение около 2 м с высоты 1 км).

Спектральное разрешение данных гиперспектрометра около 1 нм для длин волн видимой и ближней инфракрасной области спектра. При таком высоком разрешении в

исходных данных проявляются отдельные линии минералов, почвенных образований, искусственных материалов (крыши домов, асфальтовое покрытие дорог и т.п.) и атмосферной среды (в первую очередь молекулярный кислород), а также целые полосы таких высокомолекулярных соединений, как хлорофилл – основной пигмент фитоэлементов (листья/хвоя деревьев и др.). Осуществлялась привязка данных гиперспектрометра к синхронным данным аэрофотосъемки и данным наземных лесотаксационных обследований выбранной территории. Решалась задача поэлементного распознавания образов наблюдаемых макрообъектов почвенно-растительного покрова и количественной оценки их состояния (объем зеленой фитомассы, породный состав лесной растительности, типы межкромной растительности). Распознавание образов объектов осуществлялось на основе выбранной меры близости (минимального евклидова расстояния в пространстве образов) предъявляемых векторов спектральных образов некоторым «эталонным объектам». Далее решалась задача поэлементного восстановления указанных количественных параметров состояния объектов на основе обращения основного функционала расклассифицированных на первом этапе гиперспектральных данных. Важным результатом работы стало обоснование информационного содержания данных гиперспектрометра для разных дат съемки и разных тестовых участков территории (лесничество, городская свалка, песчаный карьер, заполненный водой и др.). Оценка информационного содержания данных проведена на основе суммирования частот появления разных градаций регистрируемых интенсивностей излучения в каждом из 200 спектральных каналов с логарифмом этих частот. Наиболее информативные каналы определялись по характерным перегибам и резким изменениям выбранной информационной меры по оси длин волн.

Окончательный вывод об оптимальном числе измерительных каналов, обеспечивающих решение задачи распознавания объектов с заданной точностью, делается в процессе исследования достоверности полученных результатов классификации и оценки состояния объектов. При случайной выборке отдельных элементов разрешения определялась матрица ошибок, которая рассчитывается по контрольным участкам (не совпадающим с эталонными участками, которые использовались для создания обучающих выборок). Столбцы матрицы – классы объектов, установленные по наземным или эталонным данным. Строки матрицы – классы объектов, полученные в результате предлагаемых этапов обработки гиперспектральных изображений. На главной диагонали – количество элементов правильной классификации, вне диагонали – ошибочной классификации. Рассчитывалось количество элементов разрешения, ошибочно не попавших в данный класс («ошибка пропуска цели»), а также ошибочно присоединенных к данному классу («ошибка ложной тревоги»). Соответственно, достоверность – процент правильно классифицированных элементов разрешения от общего количества проверяемых элементов. Тем самым показаны новые возможности увязки полученных результатов с данными предшествующих лесотаксационных, картографических и других материалов по выбранной территории.

Результаты получены в рамках проекта ориентированных фундаментальных исследований по целевому направлению «Космос» Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект РФФИ №08-07-13515_офи_ц).

СЕКЦИЯ 1. СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ

Председатель: д.ф.-м.н. **А.Б. Успенский** (НИЦ "Планета")

Сопредседатели: проф. **В.Е. Куницын** (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва),
д.ф.-м.н. **А.Ф. Нерушев** (НПО, "Тайфун"), д.ф.-м.н. **О.И. Кораблев**
(ИКИ РАН, Москва), к.ф.-м.н. **Л.П. Бобылев** (Нансен-центр, СПб)

Определение количества метана в атмосфере западной Сибири из спектров AIRS/AQUA с использованием нейронной сети

Захаров В.И. (vz@uraltc.ru), Грибанов К.Г., Береснев С.А., Imasu R., Bleuten W.
*Уральский государственный университет им. А.М. Горького, физ. фак-т, пр. Ленина 51, 620083
Екатеринбург, Россия*

Для массовой обработки большого объема спектральных данных, получаемых со спутниковых сенсоров типа AIRS, TES, IASI и других, представляется перспективной технология на основе искусственных нейронных сетей. В настоящей работе построена и натренирована нейронная сеть, связывающая главные компоненты наблюдаемого сенсором AIRS со спутника AQUA спектра уходящего теплового излучения Земли в 236 спектральных каналах из интервалов 680–765, 815–821 и 1238–1330 см⁻¹ с полным содержанием CH₄ в атмосферном столбе (моль/м²). На тестовом наборе данных нейронная сеть демонстрирует ошибку определения метана ~ 2.4 %.

С помощью предложенной нейронной сети обработаны спектральные данные AIRS, зарегистрированные над территорией Западной Сибири (58–67° с.ш.; 58–90° в.д.) в условиях безоблачного неба за весь период 2004–2006 гг. В качестве результатов представлены вариации среднемесячного содержания CH₄ в атмосфере Западной Сибири. Обсуждаются источники неопределенностей в решении данной обратной задачи. Сделано сравнение с аналогичными данными TES/AURA для временного тренда метана в тропосфере Сибири (http://tes.jpl.nasa.gov/visualization/SCIENCE_PLOTS/Trends/PNG_Files/Siberia_trend_CH4.png), отмечаются сезонные колебания содержания метана в атмосфере исследуемого региона, характеризующиеся регулярным превышением летних значений метана над зимними значениями. Анализируется потенциальный вклад в атмосферный метан от природных источников его эмиссии и техногенных выбросов в регионе Западной Сибири.

Данное исследование частично поддержано программой Федерального агентства по образованию "Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)" рег. №2.1.1/6019 и грантом РФФИ № 09-01-00474-а.

Определение общего содержания озона с геостационарных спутников

Поляков А.В. (polyakov@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Описана усовершенствованная методика определения общего содержания озона (OCO) с высоким пространственным (3 x 3 км²) и временным (15 мин) разрешением, использующая измерения уходящего излучения прибора SEVIRI (11 каналов в видимом и ИК диапазоне). В методике, кроме данных спутника METEOSAT, привлекается дополнительная информация о трехмерном поле температуры атмосферы, получаемой спутниковым прибором AIRS.

Обратная задача по определению OCO решается методом нейронных сетей. При обучении нейронной сети используются также данные измерений OCO с помощью прибора OMI. Наземные измерения OCO на международной озонметрической сети используются для контроля качества данных прибора OMI, а также для определения погрешностей предложенной методики определения OCO по данным SEVIRI. Показано, что среднеквадратичная разность значений OCO, полученных с помощью предложенной

методики, и по результатам измерений на международной озонметрической сети составляет ~ 5 %. Приведены примеры распределений ОСО, восстановленных с высоким пространственным и временным разрешением.

Исследование полярных циклонов спутниковыми методами

Заболотских Е.В. (elizaveta.zabolotskikh@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П.

НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Митник Л.М. (mitnik@poi.dvo.ru)

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43, 690041 Владивосток, Россия

Полярные циклоны представляют собой кратковременные, интенсивные погодные явления, наблюдаемые над холодными водами океана, имеющие масштаб не более 100–1000 км и сопровождаемые скоростями ветра, превышающими 15 м/с. Время жизни таких циклонов от 3-х до 36 часов, что, совместно со сравнительно небольшими размерами, затрудняет их обнаружение и изучение. Своевременное обнаружение полярных циклонов, изучение их характеристик, отслеживание движения и предсказание представляют одну из важнейших задач современной науки. Основным источником информации о полярных циклонах (ПЦ) остаются спутниковые данные и поля геофизических параметров, построенные на основе этих данных. Наиболее перспективным при изучении ПЦ представляется совместное использование данных различных приборов, позволяющее провести наиболее полный анализ погодной системы с привлечением всех возможных источников качественной и количественной информации.

В данной работе представлена методология исследования полярных циклонов, основанная на применении различных спутниковых данных для изучения характеристик циклонов. ПЦ детектировались визуально при анализе архива снимков РСА спутника Envisat. Отслеживание движения циклонов проводилось на основании снимков инфракрасного диапазона спектрального радиометра AVHRR спутника NOAA, снимков MODIS со спутников Terra и Aqua и спутниковых микроволновых радиометров SSM/I и AMSR-E. Данные о скорости ветра QuikSCAT скаттерометра подтвердили наличие высоких (более 20 м/с) скоростей ветра в области расположения циклона. Карты приземного анализа оказались обладающими недостаточным разрешением для обнаружения ряда полярных циклонов. Применение Нейронно-Сетевых (НС) алгоритмов восстановления интегрального содержания водяного пара Q в атмосфере и жидкокапельной влаги в облаках W позволило получить численные характеристики циклонов – общее содержание атмосферной воды в циклоне и ее минимум в центре ядра ПЦ.

Возможности использования данных спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения (ИКФС-2) для дистанционного определения параметров атмосферы и подстилающей поверхности

Поляков А.В. (polyakov@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Успенский А.Б.

НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

На основе созданной радиационной модели атмосферы в ИК области спектра, сформированного представительного ансамбля профилей температуры и влажности, температуры поверхности суши и ее излучательной способности, профилей содержания

озона, CH_4 и N_2O проведены численные эксперименты с использованием метода множественной линейной регрессии и изучены потенциальные погрешности восстановления параметров атмосферы и поверхности с помощью спутниковой аппаратуры ИКФС-2, запланированной к запуску на КА «Метеор-М» N 2.

Измерения спектров уходящего теплового излучения прибором ИКФС-2 позволяют существенно уменьшить неопределенности в профиле температуры – от величин порядка 10 К до ~ 1 К в высотном диапазоне 0–50 км. Вертикальное разрешение рассмотренного спутникового метода определения профиля температуры с помощью аппаратуры ИКФС-2 составляет 2–3 км в тропосфере. Априорная неопределенность отношения смеси водяного пара уменьшается в 2–5 раз на высотах 0–20 км. В диапазоне высот 0.5–20 км относительная влажность может определяться с погрешностью не хуже 15 %. Среднеквадратические погрешности определения температуры подстилающей поверхности при использовании различных решающих операторов лежат в пределах 0.26–0.71 К. Применение разработанного метода «обращения» измерений ИКФС-2 позволяет получать оценки излучательной способности поверхности суши со среднеквадратичной погрешностью не хуже 0.015.

Относительные погрешности определения профиля озона составляют в среднем ~ 15 –30 % на высотах 0–20 км, 10–15 % в стратосфере при использовании локальных решающих операторов. Потенциальные погрешности определения общего содержания (ОС) озона составляют 1.6–5 % в зависимости от широтной зоны. Измерения ИКФС-2 позволяют получить величины ОС закиси азота с погрешностью 1.5–2.1 % и ОС метана с погрешностью 1.7–2.3 % в зависимости от широтного пояса.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-05-00797-а), а также Министерства образования и науки РФ (гранты АВЦП 1138, АВЦП 3846).

Дешифрирование болотных микроландшафтов по космоснимкам с использованием спектральных и текстурных признаков эталонных полигонов

Шереметьева Т.А., Осипов В.М. (v.osipov@list.ru), Филиппов Г.Н.
ФГУП НИИКИ ОЭП, 188540 Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Предложен метод дешифрирования мультиспектральных изображений болотных микроландшафтов на поверхности Земли по выделенным признакам с целью определения границ болотных массивов. Дешифровка изображений, полученных многоканальной аппаратурой дистанционного зондирования в общем случае весьма сложна. Мультиспектральный режим регистрации изображений предоставляет по сравнению с панхроматическим режимом более полную информацию, но для зрительного восприятия неудобен. Информацию, содержащуюся в таких изображениях, необходимо привести к виду, позволяющему зрительно интерпретировать полученные данные.

В данной работе для этой цели применялась комплексная методика, сочетающая инструменты обработки изображений стандартной программы ENVI с возможностями их анализа специализированной программой «Визуализация» [1]. При таком подходе удается совместить высокую скорость расчета требуемых пространственно-спектральных и текстурных характеристик (программа ENVI 4.3) с возможностями их визуализации и интерактивного анализа без ограничений на число используемых характеристик (программа «Визуализация»). Применялся следующий порядок действий. С помощью стандартных инструментов программы ENVI на основе геопривязанных мультиспектральных изображений обрабатываемого участка территории создавалось цветное синтезированное изображение, которое совмещалось с имеющимися изображениями эталонных полигонов на данных участках. Под эталонным полигоном в данном случае понимают участок территории, характеристики которого точно соответствуют описанию данного типа микроландшафта в принятой схеме классификации. Эталон может быть выбран на основании: обработки

изображений пробных участков и результатов полевых исследований; информации о спектральных признаках искомого объекта, взятых из специальных баз данных по отражательным характеристикам природных образований; анализа существующих ландшафтных или тематических карт.

Далее анализировалось соответствие выделенных цветом участков болотного массива соответствующим микроландшафтам или типам растительности на ландшафтных или тематических картах. При неудовлетворительных результатах наборы изображений с рассчитанными спектральными и текстурными характеристиками передавались для дешифровки с использованием программы «Визуализация».

Дешифровка с помощью программы «Визуализация» проводится в интерактивном режиме в следующем порядке:

- определяется набор спектральных, текстурных, градиентных характеристик эталонных участков, которые используются в качестве признаков при дешифровке;
- на выходе программы получают изображение обрабатываемого снимка в тонах серого.

Интенсивность серого тона соответствует степени сходства с эталонным участком. Оператор, используя опыт и контекстную информацию, выбирает порог по яркости для выделения искомого тематического слоя. При выборе порога анализируется согласие выделенных границ с границами эталонных полигонов. При достижении удовлетворительного согласия (5–20 м для микроландшафтов с резкими границами) синтезированное изображение микроландшафта оконтуривается.

Предложенный метод апробирован в работах по картографированию болотных микроландшафтов в окрестностях Санкт-Петербурга с использованием данных спутника «Quickbird». Определены возможности метода применительно к 14 типам болотных микроландшафтов, характерных для региона Санкт-Петербурга и включенных в принятую схему их классификации. Результаты проведенных работ показали, что предложенная методика позволяет уверенно дешифровать по данным спутника «Quickbird» 8 типов болотных микроландшафтов, 3 типа ландшафтов требуют привлечения дополнительных данных полевых исследований, и еще 3 типа могут быть идентифицированы только на местности. Показана целесообразность использования текстурных характеристик изображения, а также снимков, полученных в различные месяцы летнего периода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга.

1. Sheremetyeva T. A. Method of representation of remote sensing data that facilitates visual interpretation. Proc. 5th International Conference on Space Optics (ICSO 2004), 30 March–2 April 2004, Toulouse, France. Ed.: B. Warmbein. ESA SP-554, Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-8.

Использование данных AVHRR/NOAA для оценки составляющих водного и теплового балансов речного водосбора с учетом пространственного распределения характеристик растительности и температуры поверхности

Старцева З.П. (zoya@aqua.laser.ru), Музылев Е.Л.
Институт водных проблем РАН, ул. Губкина 3, 119991 Москва, Россия

Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru), Волкова Е.В.
Научно-исследовательский центр "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Предложена адаптированная к спутниковым данным версия физико-математической модели SVAT, предназначенной для расчета на речном водосборе вертикальных потоков влаги и тепла, профилей влажности и температуры почвы, а также температур поверхности почвы и растительности для различных сроков в течение сезона вегетации. При разработке способов усвоения в модели спутниковой информации произведена замена данных наземных наблюдений при задании временного хода листового индекса LAI и температуры

подстилающей поверхности T_a на спутниковые оценки этих величин, которые вводились в модель в каждом элементе вычислительной сетки размером 3x3 пиксела. При использовании процедуры интерполяции IDWVM (Inverse distance weighted average method) сетевых наблюдений получены распределения по поверхности водосбора интенсивности осадков, температуры и влажности воздуха. С помощью модели произведены оценки составляющих водного и теплового балансов для речного водосбора за сезоны вегетации 2004–2007 гг.

Усовершенствованы методы и алгоритмы тематической обработки информации радиометра AVHRR/3 для определения температуры T_{sg} и излучательной способности E почвы, температуры T_a , эффективной радиационной температуры $T_{s,eff}$ (взвешенной линейной комбинации T_a и T_{sg}), LAI и проективного покрытия растительностью B . Произведено уточнение пороговой методики детектирования облачности и построения маски "ясно-облачно" (для повышения достоверности выделения безоблачных фрагментов), а также выполнена адаптация линейных регрессионных алгоритмов оценки $T_{s,eff}$, T_{sg} и T_a к данным AVHRR/3 ИСЗ NOAA-18. С помощью тематической обработки данных AVHRR/3, классифицированных как 100% безоблачные, выполнены оценки $T_{s,eff}$, T_{sg} , T_a , E , B , LAI за разные сроки вегетационных периодов 2004–2007 гг. для центрального региона России, включающего водосбор р. Сейм (Курская обл.) площадью 7460 км². Величины среднеквадратичных погрешностей определения T_a , T_{sg} и $T_{s,eff}$ находятся в пределах 2.0–2.5, 3.4–4.8, 2.4–3.5°C, соответственно.

Эксперимент “Русалка” для отработки методики определения содержания углекислого газа и метана в атмосфере Земли с борта Международной Космической Станции

Трохимовский А.Ю. (trokh@iki.rssi.ru), Кораблев О.И., Виноградов И.И., Федорова А.А.,
Иванов А.Ю., Родин А.В., Лякишев В.Г.

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

На сегодняшний день эксперимент «РУСАЛКА» для отработки методики определения содержания углекислого газа и метана в атмосфере с борта МКС находится в финальной стадии предполетной подготовки. Оборудование будет доставлено на борт международной космической станции в июле 2009 года. Проведены все лабораторные калибровки, разработана методика проведения космического эксперимента, получены и обработаны предварительные данные наземной отработки.

Основным функциональным узлом аппаратуры является ИК-спектрометр рекордно высокого для космических исследований разрешения ($R \sim 20000$) с системой регистрации и управления. Оборудование создано на основе эшелле-спектрометра высокого разрешения, отличающегося от классической схемы отсутствием второго пассивного и, как правило, громоздкого дисперсионного элемента со скрещенной дисперсией. Предварительная селекция одного из высоких порядков дифракции эшелле-решетки осуществляется с помощью акустооптического перестраиваемого фильтра (АОПФ) на основе кристалла парателлуриата TeO_2 , размещаемого непосредственно внутри конструкции входного телескопа, формирующего поле зрения прибора. При каждом измерении входа эшелле-спектрометра достигает излучение только в пределах спектрального интервала пропускания АОПФ, определяемого частотой ультразвуковой волны накачки кристалла АОПФ, задаваемой цифровым синтезатором. Согласование полосы пропускания АОПФ и области свободной дисперсии эшелле-решетки возможно в пределах полной полосы многоканального детектора. Спектральный диапазон работы прибора (730–1680 нм) захватывает полосы поглощения таких парниковых газов как CO_2 (1580 нм) и CH_4 (1640 нм), а так же полосы поглощения кислорода (760 и 1270 нм) и водяного пара, используемые в качестве каналов сравнения.

Сеансы измерений будут проводиться космонавтами во время специально запланированных сеансов через кварцевый иллюминатор, ориентированный на Землю. Записанные спектры вместе с пакетом служебной информации будут оперативно передаваться на Землю и, далее, в ИКИ РАН для контроля состояния научной аппаратуры и обработки полученных данных.

Новая версия ПО FIRE-ARMS для спутникового мониторинга углеродсодержащих газов в атмосфере

Грибанов К.Г. (kgribanov@remotesensing.ru)

Уральский госуниверситет им. А.М. Горького, физ. фак-т, пр. Ленина 51, 620083, Екатеринбург, Россия

Разработана новая версия программного обеспечения FIRE-ARMS (Fine InfraRed Explorer for Atmospheric Remote MeasurementS) [1, 2], предназначенного для моделирования спектров атмосферы для спутниковой геометрии наблюдения, а также для реализации различных вариантов решения обратной задачи. Данное ПО выполнено в рамках Европейского стандарта на создание кода на языке Fortran 90 (European Standards for Writing and Documenting Exchangeable Fortran 90 Code) и представляет собой конструктор программного обеспечения для задач спутникового мониторинга атмосферы. Модульность и документированность каждой функции или процедуры позволяют пользователю собирать ПО под конкретную задачу, а также дополнять FIRE-ARMS собственными модулями.

По сравнению с предыдущей версией данного программного обеспечения, новая версия расширена в спектральном отношении в сторону ближнего ИК и включает в себя следующие новые возможности: учет рэлеевского рассеяния, две модели двунаправленного коэффициента отражения от различных типов поверхности, адаптация к базе данных спектральных параметров HITRAN 2004. Для многократного ускорения расчетов имеется возможность создания и использования таблиц сечений поглощения, рассчитанных для набора давлений и температур. Код ПО написан с учетом возможностей компилятора для ОС Linux от фирмы Intel. Данный компилятор показал наилучшую производительность при расчетах, выполняемых с использованием таблиц сечений поглощения, поскольку такие расчеты связаны с быстрым произвольным доступом к файлам большого размера.

Новая версия ПО FIRE-ARMS реализует несколько алгоритмов решения обратной задачи, среди которых метод оптимальной оценки и регуляризированные методы Гаусса-Ньютона и Левенберга-Марквардта. При наличии соответствующих библиотек в операционной системе, вертикальные профили начального приближения могут быть прочитаны из файлов в формате NetCDF, а измеренные спектры из файлов в формате HDF5. Как и предыдущая версия ПО, новая версия допускает совместное использование с пакетами Octave и Gnuplot. Разработка новой версии ПО FIRE-ARMS и алгоритмов определения углеродсодержащих газов в атмосфере проводится в рамках соглашения по использованию данных японского спутника GOSAT, заключенного между Уральским государственным университетом им. Горького с одной стороны и Японским аэрокосмическим агентством (JAXA), Национальным институтом по изучению окружающей среды (NIES, Япония), Министерством по окружающей среде (МОЕ, Япония) с другой стороны.

1. Грибанов К.Г., Захаров В.И., Ташкун С.А. Пакет программ FIRE-ARMS и его применение в задачах пассивного ИК-зондирования атмосферы. *Оптика атмосферы и океана*, 1999, **12**, 4, 372–375.
2. Griбанov K.G., Zakharov V.I., Tashkun S.A., Tyuterev V.I.G. A new software tool for radiative transfer calculations and its application to IMG/ADEOS data. *J.Q.S.R.T.*, 2001, **68**, 4, 435–451.

Многолетний лёд Арктики – исчезающее явление?

Шалина Е.В. (elena.shalina@niersc.spb.ru)

НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Наблюдающееся глобальное потепление и сокращение площади морских льдов в последние десятилетия определяет пристальное внимание к трансформации ледяного покрова Арктики. Непрерывный мониторинг обширных и трудно доступных полярных районов может быть осуществлён только на основе спутниковых наблюдений. В представляемой работе для мониторинга арктических льдов использованы данные спутникового пассивного дистанционного зондирования в микроволновом диапазоне спектра. Спутниковые наблюдения в микроволновом диапазоне обеспечивают глобальное покрытие приполярных территорий, кроме того, они позволяют получать измерения в любое время суток и при любых погодных условиях, включая наличие облачности, что для Арктики является исключительно важным обстоятельством. Представленный доклад посвящен описанию трансформации морского ледяного покрова Арктики за период с ноября 1978 по настоящее время на основе спутниковых измерений в микроволновом диапазоне, полученных с американских радиометров SMMR и SSM/I и анализу полученных результатов. Поскольку наибольшие изменения наблюдаются для многолетних льдов, трансформации льдов этого типа уделено особое внимание.

При проведении расчетов параметров морского ледяного покрова на основе указанных данных использовался алгоритм NORSEX, который, используя данные измерений на 19 и 37 ГГц, позволяет различать морскую поверхность свободную ото льда, однолетний и многолетний лёд, а также количественно оценивать сплочённость указанных типов льда. Этот алгоритм, как и другие алгоритмы подобного типа, основан на предположении, что любой зондируемый участок морской поверхности может быть описан как комбинация трех типов поверхностей: «однолетний лёд», «многолетний лёд» и «чистая (свободная ото льда) вода», причем многолетним льдом считается лёд, переживший, как минимум, одно летнее таяние. Вследствие упрощенности подобного подхода при появлении льдов, похожих по своим свойствам в микроволновом диапазоне на многолетний лёд, возникают ошибки классификации. Это не влияет на расчет общей площади арктических льдов, но искажает результаты, относящиеся к многолетнему льду. Скорректировать возникающие проблемы позволяет использование данных скаттерометра QuikSCAT, проводящего измерения по схеме активного дистанционного зондирования на 13.4 ГГц.

Расчеты показывают, что за период микроволновых спутниковых наблюдений с ноября 1978 по март 2009 года площадь морских льдов сокращалась в среднем на $48000 \pm 2000 \text{ км}^2$ в год, что составляет 4.60 % за декаду, причем тенденция сокращения площади морских льдов Арктики постоянно усиливается. Площадь ледяного покрова существенно меняется в течение года, увеличиваясь в зимний сезон и сокращаясь в летний. Минимального значения площадь арктических льдов достигает в сентябре, в конце сезона таяния. Анализ результатов расчетов площади ледяного покрова за период спутниковых наблюдений позволяет выявить тенденцию более быстрого сокращения площади морских льдов в летний сезон, чем в зимнее время. Линейный тренд, описывающий сокращение средней площади морских льдов в сентябре составляет – 10.6 % за декаду ($64000 \pm 9600 \text{ км}^2$ в год), что больше в абсолютном выражении чем тренд, характеризующий изменение площади арктического ледяного покрова в целом.

Сентябрьский лёд составляет покрытие многолетнего льда в Арктике на момент начала очередного зимнего сезона. В течение зимы площадь многолетних льдов сокращается: многолетний лёд выносится из Арктического бассейна благодаря дрейфу. Существенное сокращение площади сентябрьских льдов за последние три десятилетия, естественно, отражается в столь же значительном отрицательном тренде площади многолетних льдов, в итоге доля многолетних льдов в общем ледяном покрове сокращается. Если в январе в

середине 90-х годов площадь многолетних льдов составляла примерно 40 % от общей площади ледяного покрова, то в январе 2008 г. многолетние льды занимали уже лишь 24 % общей площади льдов Арктики.

Комплексная оценка ледовых условий на шельфе арктических морей на основе спутниковой информации высокого разрешения

Александров В.Ю. (vitali.alexandrov@niersc.spb.ru), Волков В.А., Захваткина Н.Ю.
НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-
ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Сандвен С.

Nansen Environmental and Remote Sensing Centre, Bergen, Norway

На арктическом шельфе России находятся крупнейшие в мире месторождения нефти и газа. Мониторинг ледовых условий в районах выполнения работ является необходимым условием обеспечения безопасности функционирования инженерных сооружений. Организация мониторинга морских льдов должна сочетать совместное использование данных дистанционного зондирования в различных спектральных диапазонах. При этом наибольшее значение имеет использование радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), позволяющих получать данные высокого разрешения независимо от условий погоды и естественной освещенности.

На основе серии подспутниковых экспериментов разработана методология дешифрирования морских льдов на радиолокационных изображениях, получаемых со спутников ERS, RADARSAT и ENVISAT. Проведенный анализ позволил выявить основные характеристики морских льдов, которые определяются по этим изображениям. В частности, идентифицируются основные возрастные виды льда (начальный, молодой, однолетний и старый лед). Установлены различия сигнатур льда в зависимости от его форм. Степень деформации однолетнего льда определяется в рамках градаций: ровный, слабо, умеренно и сильно деформированный лед. Показана возможность идентификации прибрежных и заприпайных полыней и разрывов в дрейфующих льдах в зависимости от их ширины и вида покрывающего их льда. Определяется граница припая и распространения старого льда, а в летний период – положение кромки и сплоченность льдов, выделяются отдельные большие поля и полосы льда, определяются вектора дрейфа и зоны сжатия/разрежения. При проведении работ на шельфе основную опасность представляет появление айсбергов. На основе выполненных исследований были определены возможности и ограничения РСА по обнаружению айсбергов среди водной поверхности, припая и дрейфующих льдов. Проанализирована возможность идентификации айсбергов по изображениям видимого диапазона спутников Landsat, "Монитор-Э", ASTER и MODIS, а также по спутниковым изображениям радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), оценена информативность спутниковых изображений различного типа применительно к задачам обнаружения арктических айсбергов и определены признаки для их выделения. Предложены технологические схемы комбинированного использования спутниковой информации различного типа в зависимости от ледовых и гидрометеорологических условий в районе исследований.

Выполненные исследования показали перспективность совместного анализа спутниковых изображений в различных спектральных диапазонах для улучшения определения параметров морских льдов. Выявлены преимущества многочастотной РЛС по сравнению с одночастотной. В частности, РСА-изображения Х-диапазона содержат наиболее ценную информацию о возрасте льдов, а наслоения, торосы, гряды торосов, границы ледяных полей в зонах мелкобитого льда лучше выделяются в L- и метровом диапазонах. Определение возрастных видов морских льдов улучшается при использовании спутниковых РСА-изображений, полученных на различных поляризациях. Совместный анализ РСА-

изображений и снимков оптического диапазона позволяет улучшить определение характеристик морских льдов и избежать неоднозначностей при интерпретации.

Представлены результаты исследований по развитию методов автоматической обработки и интерпретации радиолокационных изображений ледяного покрова. Разработан и реализован алгоритм приведения удельной эффективной площадью рассеяния (УЭПР) морских льдов к одному углу падения для РСА-изображений, полученных со спутника ENVISAT. Разработаны алгоритмы тематической обработки РСА-изображений, включая определение возрастных видов льдов, общей сплоченности и частной сплоченности многолетних льдов, характеристик разрывов, а также дрейфа льдов по последовательным спутниковым изображениям. Автоматический алгоритм классификации морского льда, основанный на модели нейронных сетей (НС) в комбинации с экспертными оценками, усовершенствован на основе использования удельной эффективной площади рассеяния морских льдов и текстурных характеристик изображений.

Таким образом, использование спутниковой информации позволяет получать достоверные данные как о фоновых ледовых условиях, так и об опасных явлениях, таких как айсберги.

Автоматизированное распознавание возраста морских льдов по РСА изображениям

Захваткина Н.Ю. (natalia.piotrovskaya@niersc.spb.ru), Александров В.Ю., Коросов А.А.
НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-
ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Фролов И.Е.

ГУ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга 38, Санкт-Петербург, Россия

Йоханнессен О.М.

Nansen Environmental and Remote Sensing Centre, Bergen, Norway

Большая продолжительность темного времени и частое наличие облачности создают предпосылки использования технологий радиолокационного зондирования для мониторинга морских льдов в Арктике. Получение детальной ледовой информации по большим районам Арктики возможно с применением спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА). При интерпретации полученных изображений определяются основные навигационные характеристики льдов – возраст и сплоченность – в соответствии с принятой номенклатурой морского льда. При интерпретации РЛ-изображений основным прямым дешифровочным признаком является яркость радиолокационного изображения, определяемая удельной эффективной площадью рассеяния (УЭПР) морских льдов. УЭПР значительно изменяется в зависимости от времени года, вида и форм льда, рельефа поверхности ледяного покрова, а также от технических параметров РСА, таких как угол падения и поляризация электромагнитного излучения. Разные виды льда могут одинаково изображаться на снимках, что значительно усложняет процедуру как визуального анализа, так и автоматизированной классификации.

По калиброванным РСА изображениям спутника Envisat на ГГ-поляризации определены значения УЭПР основных видов морских льдов для угла падения 25°. Для РСА изображений характерно уменьшение яркости в дальней части полосы обзора относительно ближней, что вызвано уменьшением УЭПР морских льдов с увеличением угла падения. Для устранения этого эффекта разработана методология приведения УЭПР морских льдов к одному углу падения, которая позволяет получить равноконтрастное изображение по всей полосе обзора.

Для решения задачи автоматизированной классификации морских льдов на изображениях РСА с широкой полосой обзора, полученных со спутника ENVISAT,

использован алгоритм, основанный на модели нейронных сетей (НС) с обратным распространением ошибки в комбинации с экспертными оценками. Выбор топологии сети осуществлялся, исходя из условий поставленной задачи и качества исходных и анализируемых данных. Основным входным параметром является УЭПР морского льда. Однако использование в процедуре автоматизированной классификации только значений УЭПР не позволяет однозначно выделить различные классы льдов. Их разделение может быть улучшено путем использования текстурных признаков изображения. Предварительный анализ показал, что наиболее информативными признаками являются текстурные характеристики: корреляция, инерция, выпуклость кластера, энергия, однородность и энтропия, а также центральные статистические моменты яркости изображения третьего и четвертого порядков. На основе экспериментов были определены оптимальные параметры расчета этих характеристик: размер окна вычислений и межпиксельное расстояние. Рассчитанные по серии РСА изображений текстурные характеристики, центральные статистические моменты и значения УЭПР использовались в качестве входных данных для алгоритма классификации методом НС. Выходные параметры НС соответствуют классам многолетнего, однолетнего ровного и однолетнего деформированного льдов района центральной Арктики в зимний период. По серии РСА изображений спутника ENVISAT была натренирована нейронная сеть.

Для оценки достоверности результатов работы сети был классифицирован ряд РСА изображений. Сравнение результатов экспертного дешифрирования со значениями, полученными на выходе сети, показало, что ошибка классификации изображений методом НС составила 15 % для однолетнего ровного льда, 20 % для многолетнего и 17 % для однолетнего деформированного льдов. Выполненные работы позволяют получить реальную информацию о состоянии ледового покрова и его изменений в Арктике с достаточной оперативностью и уменьшить затраты человеческих ресурсов и времени, необходимые для визуальной интерпретации радиолокационных изображений.

К вопросу о совместимости данных SEAWIFS, MODIS и MERIS о цвете океана на примере акватории Бискайского залива

Морозов Е.А. (evgeny.morozov@niersc.spb.ru), Коросов А.А., Поздняков Д.В.

НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

На основе обширного массива данных измерений *in situ* на станциях и с борта судов разработан нейронно-сетевой био-оптический алгоритм для восстановления параметров качества воды (ПКВ) для акватории Бискайского залива и Ла Манша. Алгоритм позволяет в практически реальном времени определять по данным спутниковых датчиков НАСА SeaWIFS и MODIS концентрации хлорофилла фитопланктона, общей взвеси и растворенного органического вещества в поверхностном слое указанной акватории. Алгоритм специализированно обучен для обработки отдельно данных SeaWIFS и MODIS. Он прошел тщательную верификацию по независимым (от обучающего массива данных) *in situ* измерениям в Бискайском заливе и Ла Манше и продемонстрировал высокую точность восстановления искомых ПКВ (коэффициенты корреляции данных восстановления и данных *in situ* превышают 0.8).

Создание такого алгоритма высокой точности восстановления позволило произвести надежную оценку совместимости данных о цвете океана с использованием радиометрической информации с датчиков SeaWIFS, и MODIS. Поставленная задача довольно широко исследовалась для открытых частей морей и океанов, для которых, в общем случае, характерна ситуация простых в гидрооптическом отношении условий, когда вариации цвета воды определяются вариациями практически одного параметра, а именно – концентрацией хлорофилла фитопланктона. Однако вопрос о совместимости данных

спутниковых датчиков цвета воды в сложных в гидро-оптическом отношении водах, к которым, среди прочих, относятся морские прибрежные зоны, исследованы значительно хуже. Прибрежные воды Бискайского залива и Ла Манша известны своей гидрооптической сложностью, обусловленной рядом причин, из которых, в первую очередь, следует отметить сильное влияние речного стока, интенсивные приливно-отливные движения водных масс, интенсивное ветровое перемешивание и связанная с этим ресуспензия донных отложений в шельфовой зоне, сильные и изменчивые течения, влекущие за собой высокую пространственно-временную динамику ПКВ.

Изначально оценка совместимости данных датчиков цвета океана производилась по дням совместного пролета датчиков SeaWiFS и MODIS. Затем полученные оценки усреднялись для т.н. вегетационного периода в течение как одного года, так и ряда лет. Результаты анализа показали, что совмещение данных SeaWiFS и MODIS для увеличения пространственно-временного разрешения восстанавливаемых полей параметров качества воды весьма проблематично ввиду установленной довольно значительной дисперсии отношения концентраций попиксельно восстановленного параметра ПКВ из данных обоих датчиков. Тем не менее, данные MODIS могут быть использованы для продления временных рядов ПКВ, полученных с SeaWiFS.

Были проведены также оценки попарной совместимости данных SeaWiFS-MERIS и MODIS-MERIS с использованием стандартного для MERIS алгоритма *algae-2* и разработанного нами нейронно-сетевого алгоритма для SeaWiFS и MODIS. Результаты этого сравнения указали на весьма низкий уровень соответствия указанных попарных данных, что свидетельствует о проблематичности попарного «сшивания» данных SeaWiFS-MERIS и MODIS-MERIS, по крайней мере, при исследовании сложных в гидрооптическом отношении районов морских акваторий.

Исследование поверхностных проявлений океанических явлений по данным оптических сканеров и PCA: синергетический подход

Мясоедов А.Г. (alexander.myasoedov@gmail.com), Кудрявцев В.Н. (kvn@niersc.spb.ru)
НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-
ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196,
Санкт-Петербург, Россия

На сегодняшний день исследования поверхностных проявлений динамических процессов в океане осуществляется в основном методами PCA зондирования. Принцип PCA идентификации динамических процессов основан на их проявлении в виде пространственных вариаций «шероховатости» морской поверхности. В настоящее время на орбите Земли находится большое количество сканеров, работающих в видимом диапазоне, которые в принципе также могут быть использованы для наблюдения «шероховатости» поверхности и её вариаций, вызванных океаническими процессами. Однако этот вопрос никогда не исследовался. Данная работа направлена на повышение уровня наших знаний о принципах выявления различных динамических процессов в океане, таких как поверхностные загрязнения, проявления мезомасштабных вихрей, меандров, фронтов, струй и грибовидных структур при помощи данных оптических сканеров (таких спутников как MODIS, MERIS, SeaWiFS) и PCA. Результаты данного исследования в дальнейшем будут применены в разработке синергетического подхода для регистрации и численного моделирования океанических явлений при помощи оптических сенсоров и PCA.

Для выполнения поставленной задачи предложен метод восстановления "шероховатости" морской поверхности и её пространственных вариаций по изображениям поверхности океана в области солнечного блика, получаемых с оптических сканеров из космоса. Для реализации метода разработан программно-математический аппарат, позволяющий исключать облака и береговую линию из обрабатываемых снимков, разделять

изображения на две составляющих – осреднённую, связанную с «подсветкой» солнцем и связанную с пространственными вариациями, вызванными океаническими явлениями, а также восстановить среднеквадратичный наклон морской поверхности (СКН) по полученным полям яркости.

Приводится анализ полученных полей СКН: определяется их зависимость от полей ветра, выявляются пространственные особенности полей СКН, которые могут быть интерпретированы как поверхностные проявления различных типов океанических явлений, таких как поверхностные загрязнения, мезомасштабные вихри, меандры фронтальных зон, слики. Даются примеры сопоставления поверхностных проявлений одних и тех явлений полученных по данным оптических сканеров и РСА.

Моделирование циррусов и процессов переноса парниковых газов в рамках спутникового проекта GOSAT

Лукьянов А.Н. (lukyanov@caomsk.mipt.ru), Ганьшин А.В., Кирюшов Б.М., Журавлёв Р.В., Хайкин С.М., Коршунов Л.И., Юшков В.А., Максютов Ш.Ш., Ощепков С.Л.
Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Спутник GOSAT осуществляет надирные измерения концентрации парниковых газов CO_2 и CH_4 . Значительные ошибки при обработке сигнала обусловлены наличием облачности, и, в частности, перистых облаков (циррусов). В отличие от облаков нижнего яруса, которые фиксируются спутником и учитываются при восстановлении концентрации измеряемой компоненты, тонкие ледяные циррусы остаются невидимыми.

Поэтому был предложен независимый способ определения их вероятного присутствия с помощью моделирования. Для оценки интегральной толщи перистых облаков вдоль орбиты спутника используется траекторная модель, объединённая с моделью циррусов. Схема параметризации циррусов включает в себя процессы гомогенной нуклеации, роста и испарения частиц, а также их седиментации. В докладе представлены результаты сравнений модельных расчётов с данными влажности баллонных наблюдений, а также тестовых расчётов толщи циррусов вдоль орбиты GOSAT.

Кроме того, в докладе представлены результаты моделирования процессов переноса CO_2 с использованием Лагранжевых и Эйлеровых моделей и сравнение с наблюдениями. Усовершенствованные модели переноса предполагается использовать для обратного моделирования источников и стоков парниковых газов, что является конечной целью проекта GOSAT.

Работа выполнена при финансовой поддержке МНТЦ (проекты №3093 и №3095), а также РФФИ (грант №07–05–00486). Кроме того, авторы благодарны д-ру Роберту МакКензи (университет Ланкастера, Великобритания) за предоставленный код параметризации циррусов.

Изучение суб- и мезомасштабной изменчивости Баренцева моря по данным РСА

Козлов И.Е. (igor.eko@gmail.com)
Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия
НФ "Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена", 14-ая линия ВО 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

В данной работе проведен анализ массива РСА-снимков Баренцева моря, получены качественные оценки возможностей РСА по идентификации океанских суб- и мезомасштабных процессов и явлений. Произведена обработка около ста РСА изображений, на которых выделено, проанализировано и классифицировано более 300 примеров проявлений мезомасштабных процессов в Баренцевом море, среди которых проявления

меандрирующих течений и вихрей, фронтальных зон, внутренних волн, сулоя. Проанализировано проявление полярного фронта вблизи архипелага Шпицберген с привлечением результатов модели высокого разрешения Баренцева моря. Дано несколько примеров проведения совместного анализа данных РСА и данных видимого и ИК-диапазонов для идентификации динамических процессов в Баренцевом море. Проведено географическое распределение случаев проявлений ВВ в Баренцевом море, в результате которого были выделены районы устойчивой генерации внутренних волн. Всего за период с июня по октябрь 2007 года обнаружено более 250 проявлений солитонов и пакетов ВВ.

На основании множества примеров наблюдения мезомасштабных процессов и явлений на РСА-снимках проведен качественный анализ возможности радиолокационного изучения суб- и мезомасштабной изменчивости на примере Баренцева моря.

Эксперименты по дистанционному определению содержания диоксида углерода и метана в тропосфере на основе данных спутниковых ИК зондировщиков IASI, AIRS

Романов С.В. (svr_home@mail.ru)

РНИЦ «Курчатовский институт», ИЯР/ОТЯР/ОСАРП, пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Успенский А.Б., Кухарский А.В.

НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Задачи мониторинга CO_2 , CH_4 чрезвычайно актуальны в контексте изучения глобального углеродного цикла, проблемы глобального потепления и других климатических и экологических исследований. В докладе представлены результаты экспериментов по определению содержания тропосферного диоксида углерода и метана по измерениям ИК зондировщиков высокого спектрального разрешения IASI/MetOp, AIRS/EOS Aqua для различных широтных зон (включая зону бореальных экосистем Сибири) и сезонов.

Алгоритмы восстановления содержания CO_2 , CH_4 основаны на численном «обращении» данных измерений IASI, AIRS с помощью итерационной процедуры Гаусса-Ньютона. Кроме того, для получения робастной оценки содержания CO_2 используется пространственно-временная фильтрация результатов зондирования. В экспериментах по определению CO_2 , CH_4 на основе спутниковых измерений ИК зондировщиков использовались данные синхронных самолетных, баллонных и наземных измерений параметров атмосферы, а также результаты спутникового атмосферного зондирования.

Валидация результатов восстановления содержания CO_2 по данным AIRS над зоной бореальных лесов Сибири проводилась путем сравнения с данными самолетных измерений и показала возможность сезонного мониторинга углекислого газа в средней тропосфере с точностью не хуже 1 %. Достоверность результатов восстановления содержания CH_4 подтверждена сравнением с независимыми спутниковыми оценками.

Работа выполнена в рамках проекта INTAS, N 06-1000025-9145.

Нейронные сети для определения концентрации CO_2

Грибанов К.Г. (kgribanov@remotesensing.ru), Имасу Р., Захаров В.И.

Уральский государственный университет им. А.М. Горького, физ. фак-т, пр. Ленина 51, 620083 Екатеринбург, Россия

Определение содержания CO_2 в атмосфере с глобальным покрытием необходимо для количественной оценки мощности источников и стоков этого парникового газа на поверхности Земли. Для того, чтобы разрешить градиенты на поверхности и выявить стоки и источники CO_2 требуется определение средней концентрации в атмосферном столбе с точностью 2.5 ppm над сушей и 1.5 ppm над океаном, при этом требуются данные,

усредненные за месяц на сетке $8^\circ \times 10^\circ$ [1]. Для массовой обработки спутниковых данных, получаемых с борта японского спутника GOSAT [2], представляется перспективной технология на основе искусственных нейронных сетей.

В данной работе продемонстрирована возможность определения вертикальных профилей CO_2 и его концентрации, усредненной по атмосферному столбу, по отраженному солнечному излучению, измеряемому сенсором TANSO-FTS/GOSAT в ближнем ИК диапазоне. Обучение нейронных сетей было проведено с использованием модельных спектров в полосах кислорода (вблизи 0.76 мкм) и углекислого газа (вблизи 1.6 и 2.06 мкм). Нейронные сети разрабатывались для 7-точечной схемы сканирования земной поверхности. Для каждого из 4-х углов сканирования была разработана отдельная нейронная сеть, в то время как зенитный угол Солнца рассматривался как непрерывная переменная. В модельных экспериментах достигнута точность в 1 ppm для усредненных по атмосферному столбу величин и 4 ppm для концентрации газа у поверхности. Уровень шума в модельных спектрах задавался на уровне 1:300 для всех спектральных интервалов.

Данное исследование частично поддержано программой Федерального агентства по образованию «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)» рег. №2.1.1/6019 и грантом РФФИ №09-01-00474-а.

1. Rayner P.J., O'Brien D.M. The utility of remotely sensed CO_2 concentration data in surface source inversions. *GRL*, 2001, 28, 1, 175–178.
2. <http://www.gosat.nies.go.jp>.

Классификация и учет болотных массивов с использованием мультиспектральных изображений, полученных аппаратурой «Quickbird»

Исаченко Г.А., Резников А.И.

Санкт-Петербургский государственный университет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Осипов В.М., Шереметьева Т.А. (sher@sbor.spb.su)

ФГУП НИИКИ ОЭП, 188540 Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Осипов Д.В.

Северо-Западный центр «Эколаб», Россия

Существует широкий круг проблем в области экологии, охраны окружающей среды, административно-хозяйственной и управленческой деятельности, для решения которых необходимы геоинформационные базы данных, в том числе так называемые тематические карты местности и ландшафтные карты. Для их составления используются, в частности, и мультиспектральные снимки подстилающей поверхности, полученные с космических носителей. Такой подход обладает значительными преимуществами перед наземными методами исследования местности, так как позволяет создавать и обновлять базы геоданных, создавать тематические карты с гораздо меньшими затратами времени и сил.

Описанные в литературе методы дешифровки типов болотных ландшафтов применяются обычно для составления тематических карт больших территорий с масштабом порядка 1:200 000 или 1:500 000. Известен опыт решения подобной задачи по данным съемочной системы ASTER с разрешением 15 м (спутник TERRA) при использовании каналов 0.52–0.60 мкм, 0.63–0.69 мкм и 0.76–0.86 мкм. В результате работы была составлена карта масштаба 1:25 000, однако результаты дешифрирования типов ландшафтов оказались не слишком удачными (болотные массивы были объединены с луговыми). В последние годы появилась возможность использовать для этих целей снимки высокого пространственного разрешения (1–3 м), что позволяет составлять карты масштаба 1:10 000, требуемые в работе региональных и муниципальных органов власти.

В данном докладе представлены результаты работ по классификации и картографированию болотных ландшафтов в окрестностях Санкт-Петербурга на основе мультиспектральных изображений, полученных аппаратурой спутника «Quickbird».

Предложенная методика учета болот основана на использовании данных дистанционного зондирования (мультиспектральных космоснимков территории, полученных с разрешением 2.4 м) и результатов полевых ландшафтных исследований. Методика включает схему классификации болот, разработанную с учетом требований Водного кодекса РФ и учитывающую особенности болотных ландшафтов окрестностей Санкт-Петербурга, а также методику классификации (дешифровки) болот и методику картографирования элементов болотных ландшафтов. По результатам дешифрирования данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и по данным полевых исследований проведена классификация болотных микроландшафтов, выделено 524 микроландшафта тринадцати типов, объединенных в 294 болотных массива. Общая площадь болотных массивов на территории Санкт-Петербурга, учтенных в данной работе, составляет более 68 кв. км. Полученные результаты оформлены в виде проекта ГИС в формате personal geodatabase ArcGIS 9.1.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга.

Рассеянное солнечное излучение лимба как источник информации о стратосферном аэрозоле

Семакин С.Г. (sgs@rbcmail.ru), Тимофеев Ю.М., Поляков А.В., Виролайнен Я.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

На основе численного моделирования исследован спутниковый метод изучения оптических и микрофизических характеристик стратосферного аэрозоля по данным измерений спектров рассеянного солнечного излучения лимба Земли. При моделировании использовались 1200 реализаций вертикальных профилей функций распределения аэрозольных частиц по размерам (ФРР) и комплексного показателя преломления на высотах 0–60 км, построенных на основе созданных ранее статистических моделей атмосферного аэрозоля [1]. Для моделирования прямой задачи использовался радиационный код SCIATRAN [2].

С помощью построения обратного оператора на основе расчетов спектров уходящего излучения и метода множественной линейной регрессии изучены погрешности восстановления вертикальных профилей коэффициента рассеяния и фактора асимметрии индикатрисы рассеяния для стратосферного аэрозоля. Анализ погрешностей осуществлен для различных условий спутникового эксперимента. Изучены возможности получения из спутниковых измерений интегральных параметров стратосферного аэрозоля – общих площадей и объемов частиц.

Исследования поддержаны грантами Минобрнауки (гранты АВЦП 1138, АВЦП 3846) и РФФИ (грант 08-05-00952-а).

1. Виролайнен Я.А., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М. Статистические модели оптических свойств тропосферного аэрозоля. *Изв. РАН, ФАО*, 2004, 40, 2, 255–266.
2. Rozanov A., V. Rozanov, M. Buchwitz, A. Kokhanovsky and J.P. Burrows. SCIATRAN 2.0 - A new radiative transfer model for geophysical applications in the 175-2400 nm spectral region. *Adv. Space Res.*, 2005, 36, 5, 1015–1019, doi:10.1016/j.asr.2005.03.012.

Глобальное поле облачности по различным спутниковым данным в сравнении с данными наземных наблюдений и данными реанализа

Чернокульский А.В. (chern_av@ifaran.ru), Мохов И.И.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 109017 Москва, Россия

Проведен анализ характеристик глобального поля облачности по различным современным данным спутниковых и наземных наблюдений за облачным покровом Земли. По данным Международного спутникового проекта климатологии облачности ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project), по спутниковым данным MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) и Patmos-X (AVHRR Pathfinder Atmosphere – Extended), а также по данным наземных наблюдений EECRA (Extended Edited Synoptic Cloud Reports Archive) доля покрытия облаками Земли составляет около 2/3. По данным спутниковых наблюдений UW HIRS (University of Wisconsin High-resolution Infrared Radiation Sounder) эта доля достигает 3/4.

Доля покрытия облаками суши в целом по спутниковым данным находится в диапазоне от 1/2 (MODIS Terra) до 3/5 (UW HIRS). По наземным данным EECRA и CRU (Climatic Research Unit) облаками закрыто 55 % суши. Доля покрытия облаками океана в целом выше: от 2/3 по спутниковым данным Patmos-X и по данным судовых наблюдений ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data) до 4/5 по данным UW HIRS.

Наряду с данными спутниковых и наземных наблюдений использовались также различные данные реанализа. По данным реанализа ERA-40 (ECMWF reanalysis) доля покрытия облаками Земли (как и по данным наблюдений) близка к 2/3, а по данным двух версий NCEP (National Centers for Environmental Prediction) реанализа – около 1/2.

Сравнение спутниковых данных и наземных измерений общего содержания озона для выбора источника информации при прогнозировании ультрафиолетового индекса на территории России

Ананьев Л.Б. (alb1980@mail.ru)

Гидрометеоцентр России, Бол. Предтеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия

От содержания озона в атмосфере зависит облучение ультрафиолетовой радиацией. Во многих зарубежных странах информация об ультрафиолетовой облученности в виде УФ-индекса в теплый сезон года предоставляется населению вместе с прогнозом погоды. Существует ряд проблем информационного обеспечения технологии прогнозирования общего содержания озона (ОСО), среди которых отмечается несоответствующая международным стандартам измерительная аппаратура на отечественной наземной сети наблюдений (в рекомендации ВМО от 2004 г. предлагается замена устаревших приборов Российской озонметрической сети на более точные – Брюера и Добсона).

В настоящее время в Гидрометцентр РФ поступает информация об ОСО в оперативном режиме с 27 станций сети Росгидромета. Но использование только данных наземной сети недостаточно для качественного прогнозирования ОСО. Поскольку планируется использовать спутниковые данные ОСО, встает вопрос о степени доверия к наземным и спутниковым наблюдениям.

Для получения представлений о качестве двух видов информации об ОСО проведено сравнение данных одной из лучших станций мировой озонметрической сети Arosa (Швейцария). Представлены результаты сравнения синхронных измерений ОСО двумя наземными приборами (Брюера и Добсона) между собой и со спутниковыми данными по ст. Arosa (Швейцария). Также представлены результаты аналогичного сравнения (наземные и спутниковые данные) для ряда озонметрических станций на территории России.

Оптимальная параметризация спектров уходящего теплового излучения

Виролайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Успенский А.Б.

НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

На основе расчетов ансамбля спектров уходящего теплового излучения в области волновых чисел $660\text{--}2010\text{ см}^{-1}$ (2311 реализаций), моделирующих глобальные измерения спутниковым прибором ИКФС-2, проанализированы информативность измерений уходящего теплового излучения в терминах объема информации по Козлову, числа степеней свободы, а также прироста информации по Шеннону относительно вертикальных профилей температуры, влажности, содержания озона, температуры поверхности суши и ее излучательной способности, содержаний CH_4 и N_2O .

Во всей спектральной области ($660\text{--}2010\text{ см}^{-1}$) в измерениях уходящего излучения присутствуют 106 независимых параметров. Проанализирована точность оптимальной параметризации спектрального хода излучения, основанная на разложении излучения по собственным векторам спектральной ковариационной матрицы. Показано, что для достижения среднеквадратической погрешности параметризации, сравнимой со случайным шумом измерения, для различных областей спектра достаточно использовать от 20 до 50 первых собственных векторов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-05-00797-а), а также Министерства образования и науки РФ (гранты гранты АВЦП 1138, АВЦП 3846).

Эксперименты по дистанционному определению температуры поверхности суши на основе данных с геостационарных метеорологических ИСЗ

Соловьев В.И., Успенский С.А., Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru)

НИЦ «Планета», Большой Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Рассматривается новый метод дистанционного определения температуры поверхности суши (T_s или ТПС) по данным разновременных измерений аппаратуры SEVIRI/Meteosat-9 в каналах окна прозрачности $10.5\text{--}12.5\text{ мкм}$ при отсутствии облачности в поле зрения прибора. Метод представляет комбинацию двух известных алгоритмов тематической обработки спутниковых данных и позволяет определять T_s без привлечения данных о значениях излучательной способности суши в пунктах зондирования. Созданный метод дистанционного определения ТПС испытан в экспериментах по обработке моделированных и фактических данных SEVIRI за отдельные дни осени 2008 г. Сравнение результатов с независимыми спутниковыми оценками T_s дает величины среднеквадратического отклонения в пределах $0.5\text{--}1.5\text{ К}$, что косвенно подтверждает работоспособность и эффективность предложенного метода.

Выполнен анализ возможности детального описания суточного хода ТПС по данным SEVIRI с использованием предложенного метода оценки T_s .

СЕКЦИЯ 2. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА

Председатель: проф. Ю.М. Тимофеев (СПбГУ, СПб)

Сопредседатели: д.ф.-м.н. В.Н. Арефьев (ИЭМ, Обнинск), д.ф.-м.н. Г.Г. Щукин (ГГО, СПб), д.ф.-м.н. Б.Г. Кутуза (ИРЭ РАН, Москва), д.ф.-м.н. А.В. Троицкий (НИРФИ, Н.-Новгород)

Дистанционное зондирование вертикального распределения озона на миллиметровых волнах: влияние динамики на озон

Кропоткина Е.П. (kep@sci.lebedev.ru), Соломонов С.В., Игнатьев А.Н., Лукин А.Н., Розанов С.Б.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Представлены результаты мониторинга вертикального распределения озона (ВРО) над Москвой, выполненного с помощью спектрорадиометра ФИАН на частотах спектральной линии озона с центром на 142.175 ГГц в холодный период 2008–2009 гг. Проведен анализ влияния динамики на ВРО с использованием данных о полях потенциальной завихренности, температуры и карт барической топографии на высотах 20–50 км. Расположение Москвы удобно для изучения ВРО как внутри полярного вихря, так и вне него. Воздух полярного вихря находился в стратосфере над Москвой в течение продолжительных периодов в ноябре–декабре 2008 г. Особенностью высотно-временного распределения озона в эти периоды явилось понижение примерно в 1.5 раза (по отношению к модели COSPAR 86) содержания озона на высотах 25–40 км над Москвой.

В январе–феврале 2009 г. происходило мажорное стратосферное потепление, которое сопровождалось одновременным существованием двух антициклонов и двух циклонов. Возникший при этом меридиональный перенос воздушных масс привёл к появлению тёплого, богатого озоном воздуха в умеренных широтах, в стратосфере над Московским регионом. Эти крупномасштабные стратосферные процессы привели к значительным деформациям профилей озона над Москвой по сравнению с данными модели. Например, 21 января 2009 г. наблюдалось увеличение содержания озона в 1.5 раза (по отношению к данным модели) на 28 км, и одновременно происходило понижение содержания озона в 1.4 раза на 40 км. В период 18–20 февраля 2009 г. были зарегистрированы профили озона с локальным минимумом вблизи 35 км.

Обсуждаются закономерности изменений ВРО с привлечением результатов наблюдений в ФИАН в другие холодные периоды и в сопоставлении со спутниковыми данными и данными других обсерваторий.

Работа выполнялась по программам ОФН РАН "Проблемы радиофизики" и "Радиоэлектронные методы в исследовании природной среды и человека".

Наземные комплексные исследования газового состава атмосферы с помощью измерений спектров солнечного излучения с высоким спектральным разрешением

Поберовский А.В. (AVpob@troll.phys.spbu.ru), Макарова М.В., Поляков А.В., Ракитин А.В., Виролайнен Я.А., Кшевецкая М.А., Яговкина И., Тимофеев Ю.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Описан наземный комплекс для измерений прямого солнечного излучения с высоким спектральным разрешением в ИК области спектра на базе Фурье спектрометра Bruker-

IFS125. Приведены основные характеристики комплекса и примеры измерений спектров солнечного излучения со спектральным разрешением до 0.002 см^{-1} в спектральной области 1–15 мкм.

Даны примеры определения общих содержаний (ОС) различных атмосферных газов и оценки погрешности их определения. Проведено сопоставление восстановленных ОС ряда газов при использовании измерений со средним (прибор СИКС-2) и высоким спектральным разрешением (прибор Bruker-IFS125).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 08-05-00857-а, 07-05-00708-а), а также Министерства образования и науки РФ (гранты АВЦП 1138, АВЦП 3846).

Многолетние наблюдения двуокиси азота в стратосфере и тропосфере на Звенигородской научной станции

Елохов А.С. (elokhov@mail.ru), Груздев А.Н.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 109017 Москва, Россия

Будет представлено обобщение результатов многолетних спектрометрических измерений содержания двуокиси азота (NO_2) в атмосфере на Звенигородской научной станции (ЗНС) Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. Измерения начаты в 1990 г. и выполняются в видимой области спектра (435–450 нм) во время утренних и вечерних сумерек по рассеянному из зенита солнечному излучению с помощью монохроматора МДР-23. ЗНС входит в состав международной сети для обнаружения изменений состава атмосферы (NDACC), и звенигородский прибор сертифицирован для измерений содержания NO_2 по итогам международных сравнений. Используемая на ЗНС методика определения содержания NO_2 позволяет восстанавливать вертикальное распределение NO_2 и на его основе определять, в частности, значения содержания NO_2 в стратосферном столбе и в нижней тропосфере. Нижняя тропосфера подвержена эпизодам загрязнения, и определение нижнетропосферного содержания NO_2 очень важно для корректного определения содержания NO_2 в стратосфере.

Будут представлены результаты анализа временной изменчивости NO_2 на разных временных масштабах, включая суточные вариации, годовой ход, воздействие на NO_2 11-летнего цикла солнечной активности, многолетний линейный тренд NO_2 . Для анализа применялись разнообразные методы, в том числе методы спектрального и скользящего спектрального анализа высокого разрешения, множественный регрессионный анализ. Результаты анализа стратосферного содержания NO_2 на ЗНС сопоставлены с результатами анализа данных наблюдений на других станциях NDACC. Обсуждаются характерные особенности эффектов солнечной активности и линейных трендов стратосферного содержания NO_2 в средних широтах северного и южного полушарий. По измерениям на ЗНС выполнена валидация результатов измерений стратосферного содержания NO_2 в 1994–2009 гг. с помощью прибора OMI (Ozone Monitoring Instrument), установленного на спутнике Aura. Получено хорошее статистическое соответствие этих данных. Наряду с этим не выявлено соответствия между результатами наземных и спутниковых измерений содержания NO_2 в загрязненном пограничном слое атмосферы в окрестности ЗНС.

Модификация двухпоточкового алгоритма восстановления общего содержания диоксида азота по наземным измерениям

Николаева О.В. (nika@kiam.ru), Басс Л.П.

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия.

Елохов А.С., Иванов В.А.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 109017 Москва, Россия

Рублев А.А.

РНИИ Курчатовский институт, пл. И. В. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Алгоритмы восстановления высотных профилей и общего содержания диоксида азота NO_2 в стратосфере и тропосфере по наземным и спутниковым измерениям интенсивностей прошедшего через атмосферу [1, 2] и отраженного атмосферой [3, 4] солнечного света активно развиваются в течение последних 20 лет. Эти алгоритмы обычно используют априорные предположения о высотных профилях газов и оптических толщин аэрозолей в атмосфере.

Двухпоточковый алгоритм восстановления общего содержания NO_2 по наземным измерениям [5] не использует подобной априорной информации. Он опирается на предположения о форме спектральной зависимости коэффициентов экстинкции, рассеяния вперед и рассеяния назад. Интенсивность прошедшего света в этом алгоритме определяется по двухпоточковой модели переноса излучения в столбе безоблачной атмосферы с учетом многократного рассеяния.

Модификация рассматриваемого алгоритма связана с включением в число неизвестных постоянной калибровки результатов измерений. Так же, как и искомое общее содержание NO_2 , эта постоянная определяется минимизацией отклонения измеренных и полученных по двухпоточковой модели значений интенсивностей прошедшего света в предположении, что эта постоянная не зависит от длины волны. Такой подход снимает вопрос о калибровке измерительной аппаратуры.

В докладе приводятся результаты тестирования двухпоточкового алгоритма, в котором в качестве измеренных значений интенсивности прошедшего света принимаются величины, полученные решением уравнения переноса излучения в стандартной атмосфере с заданным профилем NO_2 методом дискретных ординат по программе РАДУГА [6]). Также представлены результаты восстановления общего содержания NO_2 по спектроскопическим измерениям, выполненным в мае–июле 2008 года в метеорологической обсерватории МГУ спектрометром Oriel 260.

Работа выполнена при поддержке гранта МНТЦ № 3254.

1. McKenzie R., P.Johnston, C.McElroy, J.Kerr, S.Solomon. Altitude distributions of stratospheric constituents from ground-based measurements at twilight. *J. Geophys. Res.*, 1991, **96**, 8, 15499–15511.
2. Елохов А.С., Груздев А.Н. Измерения общего содержания и вертикального распределения NO_2 на Звенигородской научной станции. *Изв. РАН, ФАО*, 2000, **36**, 6, 831–846.
3. Поляков А.В., Ю.М. Тимофеев. Влияние алгоритма решения обратной задачи на результаты зондирования атмосферы затменным методом (аппаратура SAGE III). *Иссл. Земли из космоса*, 2004, 5, 15–30.
4. Bucela E.J., E.A.Celarier and others. Algorithm for NO_2 vertical column retrieval from the ozone monitoring instrument. *IEEE Trans. Geosc. Remote Sens.*, 2006, **55**, 5, 1245–1258.
5. Николаева О.В., Л.П. Басс, А.С. Елохов, В.В. Иванов, А.Н. Рублев. Восстановление общего содержания NO_2 по данным спектрометрических измерений в метеорологической обсерватории МГУ. Сб. тез. Шестой всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 10–14 ноября 2008 г.
6. Nikolaeva O.V., L.P. Bass, T.A. Germogenova, V.S. Kuznetsov. Algorithms to calculation of radiative fields from localized sources via the Code Raduga-5.1(P). *Transp Theory & Statist Phys*, 2007, **36**, 439–474.

Вариации содержания окиси углерода в Москве и особенности загрязнения атмосферы мегаполиса с учетом параметров атмосферного пограничного слоя

Ракитин В.С. (vadim@ifaran.ru), Фокеева Е.В., Джола А.В., Гречко Е.И., Кузнецов Р.Д.
Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Представлены результаты измерений общего содержания окиси углерода в центре Москвы в период 2005–2008 гг. с использованием методики определения содержания по поглощению солнечного излучения толщей атмосферы. Главное достоинство примененного метода состоит в относительной независимости получаемых данных от локальных и даже относительно крупных источников примеси вследствие усреднения содержания по всей толще атмосферы. Использовались два одинаковых измерительных комплекса, состоящих из дифракционного спектрометра среднего разрешения (0.2 см^{-1}) и следящей системы. Данный метод позволяет получить характеристики антропогенного загрязнения атмосферы, такие как городскую часть содержания СО с помощью одновременных измерений в двух пунктах, в городе и на Звенигородской региональной фоновой станции ЗНС, расположенной в 60 км к западу от Москвы.

Непрерывные измерения параметров атмосферного пограничного слоя с помощью акустического локатора-содача ЛАТАН-3 позволили изучить влияние условий выноса примеси с поверхности на величины загрязнения. Вариации содержания окиси углерода зависят в основном от скорости ветра и температурных инверсий. С помощью содарных данных были определены коэффициенты корреляции городской части содержания со средней в слоях различной высоты скоростью ветра для холодного и теплого сезонов. Выяснилось, что наибольшее влияние на содержание примеси оказывает скорость ветра в некотором (до 500 м) приземном слое воздуха. Сравнивая полученные результаты с более ранними (1993–2005 гг.), можно отметить тот факт, что общее содержание окиси углерода в Москве в целом не увеличилось, несмотря на более чем трехкратное увеличение числа автомобилей. Сравнение частот повторяемости городской части содержания для Москвы и Пекина показало, что для Москвы число дней с экстремальными значениями содержания СО составляет менее 5 %, для Пекина – более 20%.

Зафиксированный для 70–80 гг. XX века рост фоновое содержание окиси углерода в XXI веке не подтвердился. Можно выделить 2008 г. как год наименьшего фоновое содержание СО за последнее десятилетие. Таким образом, применение спектроскопического метода позволило оценить тренд атмосферного загрязнения окисью углерода. С помощью траекторного анализа по результатам измерений 2006–2008 гг. оценено влияние мегаполиса на формирование регионального фона на примере ЗНС, которое оказалось незначительным. Так, случаи заметного влияния заноса примеси из Москвы на региональное фоновое содержание составляют 2.8 % от общего числа измерений.

Исследование нестационарного состояния атмосферного водяного пара по его радиоизлучению в линиях поглощения 22.2 и 183 ГГц во время полного солнечного затмения 2008 г.

Троицкий А.В. (troitskyav@nirfi.sci-nnov.ru), Миллер Е.А.
Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25/12а, 603950, Н. Новгород, Россия

Выполнены экспериментальные радиометрические исследования влияния полного солнечного затмения (1 августа 2008 г., Новосибирск) на содержание, динамику и излучательное равновесие атмосферного водяного пара. Исследования проводились по измерениям интенсивности собственного микроволнового излучения ясной атмосферы в окрестностях орто- и пара- линий поглощения водяного пара 22.2 и 183 ГГц на частотах 22.2,

20.7 и 140 ГГц. Обнаружено существенное уменьшение содержания водяного пара величиной $\Delta Q \sim 0.35 \text{ г/см}^2$ с минимумом за ~ 40 мин. до полной фазы затмения. Среднее значение содержания водяного пара при этом составило величину $Q \sim 1.6 \text{ г/см}^2$. Отметим, что для невозмущенной атмосферы на период наблюдения минимума Q , наоборот, приходится суточный максимум содержания водяного пара. Кроме этого, в предзатменный и затменный периоды наблюдались аномально высокие, квазипериодические ($T \sim 20$ мин.) пульсации Q величиной $\Delta Q \sim 0.15 \text{ г/см}^2$, что в ~ 8 раз превышает естественные флуктуации водяного пара для невозмущенной атмосферы.

Эти результаты косвенно указывают на возможное образование вертикальной циркуляционной ячейки в полосе тени, в которой происходит вынос более влажного воздуха пограничного слоя (вследствие увеличения давления) и втока более сухого воздуха средней тропосферы. Такая циркуляция может порождать внутренние атмосферные волны, которые, в свою очередь, вызывают квазипериодические флуктуации содержания водяного пара Q в столбе атмосферы.

Синхронные измерения на 22.2 и 140 ГГц обнаружили аномально большое нарушение равновесия интенсивности излучения в ясной атмосфере в исследуемых линиях поглощения водяного пара. Равновесное отношение интенсивности излучения (яркостных температур) на этих частотах составляет $K = \Delta T_{\text{я}}(140) / \Delta T_{\text{я}}(22.2) \sim 2.5$. Наблюдаемые величины отношений интенсивности K достигали значений 6.5 и совпадали по времени с пульсациями содержания водяного пара. Трендовые значения K достигали максимума ~ 4 , который по времени соответствовал наблюдаемому минимуму общего содержания водяного пара Q . За цикл наблюдений практически не отмечено значений K , меньших равновесного 2.5.

На наш взгляд, из известных механизмов формирования излучения, по крайней мере, два могут интерпретировать наблюдаемые эффекты. Первый – это нарушение спин-изомерного (пара-орто) равновесия водяного пара, т. е. увеличение количества пара-молекул (линия 183 ГГц) и уменьшение орто-молекул (линия 22.2 ГГц) в процессе адсорбции на аэрозолях или конденсации в субмикронные кластеры [1, 2]. Второй механизм также связан с образованием субмикронных водяных кластеров размером $\sim 0.5 \div 0.7 \text{ мкм}$. В этом случае зрительный эффект ясной атмосферы сохраняется, т. к. кластеры резонансно рассеивают голубую компоненту солнечного спектра и невидимы на фоне «ясного» неба. Интенсивность принимаемого микроволнового излучения таких кластеров имеет релейский характер, т. е. пропорционален водности кластеров W и квадрату частоты излучения ν^2 .

1. Tihonov V.I., Volkov A.A. Separation of water into its orto and para isomer. *Science*, 2002, **296**, 2363.
2. Троицкий А.В. Исследование микроволнового излучения земной атмосферы в условиях возможного нарушения спин-изомерного равновесия водяного пара. Тезисы Симпозиума «Атмосферная радиация». С. Петербург, 2006, 115.

Статистические взаимосвязи оптических параметров атмосферного аэрозоля по данным радиометрических измерений в сети AERONET

Король Я. (janakorol@gmail.com), Чайковский А., Дубовик О., Голоуб Ф., Балашевич Н.,
Лапенко Т.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Беларусь

Проблема обработки и интерпретации данных оптических дистанционных измерений параметров атмосферного аэрозоля, как правило, приводит к необходимости решения некорректной обратной задачи в условиях дефицита входной информации. Одним из способов «доопределения» множества решений является включение в процедуру обработки данных дополнительных приближенных соотношений между восстанавливаемыми параметрами аэрозольных частиц. В этом качестве часто используются регрессионные зависимости между оптическими и микрофизическими параметрами аэрозоля, построенные для определенного статистического ансамбля состояний аэрозольной компоненты атмосферы. Классической задачей является оценка показателя ослабления аэрозоля по

значениям показателя обратного рассеяния при решении лидарного уравнения. Предлагаемые в различных работах варианты статистических зависимостей имеют серьезное ограничение на область их применения, поскольку они строятся на основе недостаточно обоснованных модельных представлениях о реальных изменениях параметров аэрозоля.

В настоящей работе статистические взаимосвязи между параметрами частиц определяются для ансамблей состояний аэрозольной компоненты, получаемых из регулярных натурных измерений в глобальной радиометрической сети Aerosol Robotic Network (AERONET) [1]. Сеть AERONET включает около 300 станций на всех континентах. Результатом обработки данных измерений в сети AERONET являются спектры ослабления аэрозоля, распределение частиц по размерам, комплексный показатель преломления аэрозольных частиц. Принципиальной особенностью измерений является усреднение восстанавливаемых параметров аэрозоля по слою атмосферы. Совокупность наборов оптических параметров аэрозоля, содержащихся в базе данных сети AERONET, предоставляет возможность для формирования характерных ансамблей состояний аэрозольной компоненты и определения статистических зависимостей параметров взвешенных частиц, отражающих реальные изменения в атмосфере.

Получаемые свободно через сеть Интернет, результаты измерений в сети AERONET обрабатывались при помощи специально разработанного программного пакета Spheroid. Расчеты оптических характеристик аэрозоля проводились на основе модели хаотически ориентированных сфероидов [2]. Выходные данные аппроксимировались линейной регрессией. Были найдены коэффициенты, связывающие оптическую толщину экстинкции и коэффициент обратного аэрозольного рассеяния. Зная эти коэффициенты, можно восстанавливать значения лидарного отношения по известным значениям коэффициентов обратного аэрозольного рассеяния на различных длинах волн и далее находить величину оптической толщины экстинкции. При этом производилось разделение данных по каждой станции на 2 части с применением кластерного анализа по спектральной зависимости коэффициента обратного аэрозольного рассеяния. Для каждой группы данных строились регрессионные соотношения и проводился поиск коэффициентов.

Найденные значения применяются в решении лидарного уравнения. Ранее при нахождении оптической толщины экстинкции для подстановки в лидарное уравнение пользовались средним значением лидарного отношения, что приводило к колоссальной потере точности. Применяемый метод позволяет уменьшить погрешность в определении ослабления с 40–60 % до 20–30 % на длине волны 355 нм, и с 30–50 % до 15–30 % на длинах волн 532 нм и 1064 нм для континентальных аэрозолей. Для аэрозолей с преобладанием пыли и горных аэрозолей уменьшение погрешности на всех длинах волн составляет с 25–50 % до 15–30 %.

Таким образом, предложенный метод позволяет более точно определять оптические характеристики атмосферного аэрозоля и в настоящее время внедряется в комплексный программный пакет для обработки данных лидарных и радиометрических измерений.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Ф07Ф-001/2007).

1. Holben, B.N., et al. AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sens. Environ.*, 1998, **66**, 1–16.
2. Dubovik, O., B.N. Holben, T. Lapyonok, A. Sinyuk, M. I. Mishchenko, P. Yang, and I. Slutsker. Non-spherical aerosol retrieval method employing light scattering by spheroids. *Geophys. Res. Lett.*, 2002, **29**, 10, 1415, doi:10.1029/2001GL014506.

Исследования аэрозоля в атмосфере над Киевом с солнечным фотометром AERONET/PHOTONS в 2008–2009 гг.

Данилевский В. (vdan@observ.univ.kiev.ua), Ивченко В.

Национальный университет имени Тараса Шевченко, ул. Обсерваторная 3, 04054 Киев, Украина

Сосонкин М.

Главная астрономическая обсерватория НАНУ, ул. Академика Заболотного 27, 03680 МСП Киев, Украина

Голуб Ф.

Лаборатория оптики атмосферы, Университет наук и технологий г. Лилля, Франция

Международная объединенная сеть солнечных фотометров AERONET – одно из наиболее развитых и эффективных средств для дистанционных исследований аэрозоля в земной атмосфере из поверхности Земли. Одна из составляющих этой сети – PHOTONS, организованная Лабораторией оптики атмосферы (ЛОА, г. Лилль, Франция), – поддерживает работу приблизительно 40-ка наблюдательных станций в Европе, Африке и Азии, обеспечивая калибровку фотометров и контроль их состояния.

Измерения содержания и характеристик аэрозоля над Киевом выполняются с марта 2008 г. при помощи солнечного фотометра CIMEL CE 318-2 (поляризационная модель), предоставленного ЛОА. Контроль состояния фотометра и его калибровка выполняется ЛОА, данные в базу AERONET передаются через интернет. Измерения содержания и характеристик аэрозоля над Киевом позволят детальнее исследовать его динамику над Восточной Европой, дополняя данные, получаемые ближайшими станциями AERONET в Беларуси (Минск), Молдове (Кишинев) и на юге Украины (Севастополь). В докладе приведены оптические характеристики аэрозоля по данным измерений за год работы фотометра.

Исследование оптических характеристик атмосферы Крыма

Терез Э.И. (terez@crimea.edu)

НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», пос. Научный, Крым, 98409 Украина

Терез Г.А., Козак А.В.

Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, пр. Вернадского 4, 95007 Симферополь, Украина

Для исследования оптических характеристик атмосферы Крыма в Симферополе (высота 265 м над уровнем моря) с 1993 г. проводятся регулярные фотометрические солнечные наблюдения. Для наблюдений используется солнечный фотометр, позволяющий регистрировать лучистые потоки в семи длинах волн (372, 406, 453, 556, 748, 952 и 1005 нм). Все процессы наведения и слежения за Солнцем, а также запись сигналов на компьютер автоматизированы. Обработка результатов осуществляется в реальном времени по методу Бугера-Лэнгли. В результате выполненных наблюдений и последующей обработки получена база данных за каждый наблюдательный день всех основных оптических параметров атмосферы: оптической толщины атмосферы, аэрозольной оптической толщины и коэффициентов Ангстрема.

Выполнено сравнение полученных данных с параметрами атмосферы для Карадагской геофизической обсерватории (высота 40 м) и Крымской астрофизической обсерватории (высота 650 м).

Восстановление параметров атмосферного аэрозоля по результатам совместного лидарного и радиометрического зондирования

Лопатин А.Ю. (lopatsin@scat.bas-net.by), Чайковский А.П., Дубовик О., Голоуб Ф.,
Балашевич Н., Денисов С., Король Я.А., Лапенко Т.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Беларусь

Радиометрические измерения в сети AERONET позволяют восстанавливать оптические характеристики аэрозольных частиц и их распределение по размерам, осредненные по атмосферному слою. Лидарные измерения в свою очередь предоставляют информацию о высотном распределении параметров аэрозольного слоя. Совместные лидарные и радиометрические измерения позволяют получить информацию о высотных распределениях оптических параметров и микроструктуры атмосферного аэрозоля.

Алгоритм восстановления параметров атмосферного аэрозоля использует аэрозольную модель, сформированную как совокупность двух фракций с пограничным радиусом 0.5 мкм. Распределение частиц по размерам каждой фракции и показатель преломления считаются независимыми от высоты и соответствуют данным радиометрических измерений. Два параметра, являющиеся высотным распределением концентраций частиц каждой фракции, определяют аэрозольную модель. Их расчет является задачей обработки данных комплексного лидарного и радиометрического эксперимента. Предложенный алгоритм обработки основывается на использовании критерия максимума функции правдоподобия. Рассматриваемые характеристики полагаются независимыми случайными переменными с нормальным законом распределения. Набор параметров, обеспечивающий максимум функции правдоподобия, является решением задачи обработки данных комплексного лидарного и радиометрического зондирования.

В рассматриваемом случае условие максимума функции правдоподобия равнозначно условию минимума функционала, содержащего три независимых члена. Первый член представляет требование близости измеренного и рассчитанного по оптимальному набору параметров лидарных сигналов на длинах волн, используемых при лидарном зондировании, число которых в рассматриваемом случае равнялось трем (1064, 532 и 355 нм.). Второй член обеспечивает соответствие интегральных характеристик аэрозольного слоя, измеренных в радиометрическом эксперименте и рассчитанных по восстановленным высотным распределениям параметров аэрозольной модели. Третий член вводит требование на гладкость высотных распределений параметров аэрозольной модели. Минимизация этого базового функционала является основой алгоритма восстановления параметров атмосферного аэрозоля по данным лидарных и радиометрических измерений.

Входными параметрами алгоритма являются лидарные сигналы, интегральные концентрации аэрозольных фракций, определяемые по данным радиометрических измерений, высотные распределения оптических характеристик молекулярной атмосферы. Для решения задачи также должны быть заданы параметры регуляризации, приводящие компоненты базового функционала к единому масштабу значений с учетом различий в точности лидарных измерений на разных высотах и длинах волн.

Предложенный алгоритм состоит из нескольких этапов. На первом этапе лидарные данные синтезируются на основе нескольких измерений с различными приемными углами лидарной системы, данные в ближней зоне, недоступные для измерения, экстраполируются. Проводится перерасчет оптических характеристик аэрозольных фракций, полученных из базы данных AERONET, для длин волн, совпадающих с рабочими в лидарных системах. На втором этапе производится коррекция и осреднение лидарного сигнала. Рассчитываются профили коэффициентов обратного рассеяния и поглощения молекулярной атмосферы. Как априорные параметры вводятся отношения обратного рассеяния в реперных точках для рабочих длин волн лидара, в дальнейшем они будут полагаться параметрами оптимизации. На третьем этапе проводится расчет профилей концентраций и оптимальных значений отношений обратного рассеяния. Алгоритм расчета основан на задании начального значения

оптимизируемых параметров и последовательного приближения к значениям параметров, обеспечивающих минимум базового функционала. В качестве алгоритма минимизации использовался алгоритм Левенберга-Марквардта. При использовании подобного алгоритма было предусмотрено ограничение на неотрицательность оптимизируемых значений.

Тестирование алгоритма с использованием результатов совместных лидарных и радиометрических измерений, проведенных в Лаборатории оптики рассеивающих сред Института физики НАНБ, показало быструю сходимость алгоритма и устойчивость к начальной инициализации оптимизируемых параметров. Было обнаружено расхождение с экспериментом в приземном слое, что вызвано, по всей видимости, недостаточностью выбранной аэрозольной модели для описания явлений в этой области.

Работа выполнена при поддержке гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (№ Ф07Ф-001/2007).

Поляризационный анализ сумеречного неба: стратосферный и мезосферный аэрозоль

Угольников О.С. (ougolnikov@gmail.com), Маслов И.А.

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

Работа базируется на сумеречном методе зондирования атмосферы. Во время различных стадий сумерек фон неба создается рассеянием солнечного излучения на разных высотах в атмосфере. Это дает возможность исследовать разные слои атмосферы по отдельности. Поляризационные измерения позволяют исключить фон многократного рассеяния, вклад которого достаточно велик, а также получить больше информации о свойствах рассеяния света. Поляризация сумеречного неба чувствительна к появлению пыли и аэрозоля в разных слоях атмосферы, уменьшаясь в течение соответствующего периода сумерек.

Уровень стратосферного аэрозоля большую часть времени достаточно мал. Он увеличивается обычно после сильных вулканических извержений. Значительный вклад аэрозольного рассеяния в стратосфере над пунктом наблюдения (Крым, Украина) был зафиксирован в декабре 2006 года. Сравнительный анализ нескольких сумерек позволил оценить отношение коэффициентов аэрозольного и молекулярного рассеяния (0.1–0.2) и поляризацию аэрозольного рассеяния под углом 90 градусов (0.28). Появление стратосферного аэрозоля, возможно, связано с извержением вулкана Рабаул в октябре 2006 года.

Рассеяние на частицах пыли наблюдается в мезосфере после максимумов больших метеорных потоков. Поляризационный анализ позволил зарегистрировать метеорную пыль потока Леониды после максимума 2002 года на высоте более 90 км и последующее оседание этой пыли в более низкие слои атмосферы.

Гибридный Эйлера-Лагранжа метод статистики обратных траекторий для наземного зондирования атмосферы

Поддубный В.А. (basil@ecko.uran.ru)

Институт промышленной экологии УрО РАН, ул. Софьи Ковалевской 20А, 620219 Екатеринбург, Россия

Методы статистики обратных траекторий позволяют оценить структуру пространственных полей параметров загрязнения атмосферы, измеряемых локально в одной или нескольких точках мониторинга за большой период времени. Эти методы опираются на совместный анализ данных множества измерений и множества траекторий движения воздушных (лагранжевых) частиц, время прихода которых в точку наблюдения соответствует времени выполнения замеров. Получение информации о пространственном

распределении по данным локальных\точечных измерений основывается на двух положениях: 1) информация о загрязнении переносится к прибору из других пространственных областей благодаря движению воздушных потоков; 2) «пересечение» траекторий движения воздушных частиц, несущих различные значения сигнала (измеряемого признака), позволяет локализовать области пространства с вероятно более высоким уровнем измеряемого признака.

Представлено описание алгоритма нового варианта метода статистики обратных траекторий, основанного, помимо процедур статистического усреднения и пространственного сглаживания, на итеративном решении уравнений сохранения\переноса измеряемого прибором признака. Включение в новый метод этапа решения уравнений сохранения признака позволяет развивать предложенную методику в направлении учета реальных физико-химических процессов, происходящих с анализируемым веществом в атмосфере (гравитационное, сухое, влажное осаждение; вымывание; физико-химические трансформации; турбулентную диффузию). Предлагаемый метод позволяет совместно использовать в расчетной схеме как результаты прямых измерений, так и теоретические физико-химические модели рассматриваемого процесса переноса вещества в атмосфере.

Последовательность решения задачи заключается в выполнении следующих этапов:

- 1) формирование множества результатов измерений за большой промежуток времени (от нескольких месяцев до нескольких лет);
- 2) расчет множества обратных траекторий движения воздушных (лагранжевых) частиц, прибывающих в точку расположения прибора;
- 3) статистическая оценка среднего поля измеряемого признака в соответствии с методом статистики обратных траекторий;
- 4) оценка мощностей источников признака на основе разностных, усредненных за рассматриваемый период, уравнений сохранения (в представлении Эйлера) для расчетных ячеек пространства;
- 5) уточнение распределений значений признака вдоль каждой из анализируемых траекторий движения воздушных частиц на основе уравнений сохранения в представлении Лагранжа;
- 6) итеративное повторение шагов 3)–5).

В тех задачах, где задаются\известны значения измеряемого признака на границах расчетной области в полное множество анализируемых траекторий движения воздушных частиц следует включать не только обратные, но и прямые траектории. При этом обратные траектории должны начинаться с точки (точек), где располагается измерительный прибор, а прямые траектории рассчитываются начиная с точек (областей) пространства, где заданы граничные условия (и\или мощности источников выбросов в атмосферу).

Представлены результаты решения упрощенной тестовой задачи. В качестве исходных данных использованы результаты измерений аэрозольной оптической толщи, выполненных на Среднем Урале (обсерватория Коуровка около Екатеринбурга) за период 2004–2007 годы в рамках проекта AERONET, представленные на сайте aeronet.gsfc.nasa.gov, а также рассчитанные Т. Кучерой (НАСА, Годдарский центр космических полетов) и представленные на сайте cros.gsfc.nasa.gov/aeronet/, семидневные обратные траектории на изобарической поверхности 950 ГПа. Показано, что разработанный метод потенциально позволяет получить: 1) вероятностную оценку пространственного поля измеряемой величины за большой период времени; 2) установить местоположение источников загрязнения атмосферы; 3) оценить мощности источников выбросов измеряемых компонентов, усредненные по пространству и времени.

Обсуждаются варианты обеспечения устойчивости расчетного алгоритма, а также возможности и недостатки предлагаемого метода.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-01-00474-а, а также научного проекта по Программе УРО РАН «Фундаментальные научные исследования, выполняемые совместно с организациями СО РАН и ДВО РАН».

Восстановление размеров капель теплого облака по измерениям многоапертурным рамановским лидаром

Малинка А.В. (mal@light.basnet.by), Зеге Э.П.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Белоруссия

Уондингер У., Шмидт Й.

Институт тропосферных исследований, Leipzig, Germany

В работе рассмотрены возможности восстановления характеристик теплого (жидко-капельного) облака по измерениям многоапертурным рамановским лидаром. В лидаре используются две апертуры (круговая и кольцевая диафрагмы), которые определяют два различных поля зрения лидара. При этом сигнал, получаемый с внутренней (круговой) диафрагмы, в основном определяется однократным комбинационным рассеянием света на атмосферном азоте и ослаблением по закону Бугера на облачных каплях. Сигнал же, получаемый с внешней (кольцевой) диафрагмы, в основном определяется процессом многократного упругого рассеяния света на каплях. Поскольку в процессе многократного рассеяния света в облаке основную роль играет рассеяние в направлении вперед, сигнал многократного рассеяния сильно зависит от индикатрисы рассеяния света на каплях в направлении вперед, которая определяется размером облачных капель. Таким образом, сигнал многоапертурного лидара чувствителен к двум характеристикам облака: показателю рассеяния и эффективному размеру облачных капель.

Теория формирования сигнала многоапертурного рамановского лидара была разработана авторами ранее. Процесс формирования сигнала рассматривается в рамках приближения малоуглового квази-однократного рассеяния, в котором учитывается свет, многократно рассеянный в направлении вперед и однократно рассеянный назад со сдвигом частоты. В результате исследования чувствительности сигнала к характеристикам облака нами предложены оптимальные значения поля зрения лидара для измерения показателя рассеяния и размера облачных капель. Разработан итерационный алгоритм восстановления профиля показателя рассеяния и размера капель по измерениям многоапертурным рамановским лидаром. Уникальный многоапертурный рамановский лидар был разработан в Лейпцигском Институте тропосферных исследований (Германия), где были проведены первые измерения. Разработанный алгоритм применен для обработки этих измерений.

Методы лидарного определения характеристик атмосферного аэрозоля

Егоров А.Д. (egorovad@rambler.ru), Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б., Саноцкая Н.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

В работе рассмотрена проблема определения характеристик атмосферного аэрозоля по результатам лидарных измерений. Установлена специфика применения дифференциальных и интегральных методов в практике лидарного зондирования. Рассмотрены симметричные (два равных шага дифференцирования) и несимметричные схемы обработки данных (два разных шага дифференцирования). Найдены новые решения лидарного уравнения, на основе которых разработаны интегральные методы многопозиционного лидарного зондирования. В предложенных методах интегральные решения выступают в качестве соотношений, связывающих между собой определяемые коэффициенты ослабления и обратного рассеяния.

Для адекватного описания характеристик неоднородной атмосферы необходим учет возможности существенных вариаций связей между коэффициентами ослабления и обратного рассеяния. В отличие от известных алгоритмов обработки сигналов многопозиционного лидарного зондирования, основанных на дифференциальных решениях, область применимости интегральных решений распространяется как на однородную, так и на неоднородную атмосферу. Предложены решения лидарного уравнения с неизвестной

фоновой засветкой. Выполнено исследование эффективности разработанных дифференциальных и интегральных методов, включая численный анализ их чувствительности к ошибкам в исходных данных, моделирование случайных и систематических погрешностей определения искомых величин, проанализирована погрешность решения системы интегральных уравнений многопозиционного зондирования.

С использованием данных эксперимента был выполнен анализ погрешностей определения искомых характеристик. Для типичных атмосферных условий и для реалистических характеристик лидара выполнено сравнение различных схем зондирования. Проанализирован наблюдательный материал, собранный в процессе выполнения натурных экспериментов, выполнена интерпретация данных лидарного зондирования атмосферы. Это позволило учесть особенности аппаратуры и условий зондирования атмосферы при исследовании и разработке схем обработки эхо сигналов. Анализ результатов исследований, выполненных в работе, показал, что небольшие систематические погрешности существенно влияют на результаты решения обратной задачи. Случайные погрешности определения искомых характеристик в значительной степени зависят от алгоритмов, используемых для обработки измеряемых сигналов. Результаты анализа показали, что на основе нового решения лидарного уравнения найдены эффективные алгоритмы обработки эхо сигналов.

Двуокись азота в атмосфере центральной части Евразии (станция мониторинга «Иссык-Куль»)

Кашин Ф.В., Арефьев В.Н. (vnaref@typhoon.obninsk.ru)

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Семенов В.К. (vk-semenov@yandex.ru), Синяков В.П.

Киргизский национальный университет, ул. Манаса 101, 720033 Бишкек, Киргизстан

Содержание двуокиси азота в столбе атмосферы на станции мониторинга атмосферы «Иссык-Куль», расположенной в центральной части Евразийского континента на северо-востоке Киргизии в горах Тянь-Шаня на северном берегу высокогорного озера Иссык-Куль (42° 37' 20" N, 76° 59' 08" E; 1650 м над уровнем моря), измеряется с 1983 г. с использованием принципов абсорбционной спектроскопии (Differential Optical Absorption Spectroscopy), модернизированной методики DOAS [1].

Средние месячные и годовые величины (средние арифметические утренних и вечерних) общего содержания двуокиси азота в целом за 25 лет наблюдений выросли на ~ 6 %, несмотря на имевшее место резкое уменьшение NO₂ в 1991–1995 гг. вследствие извержения вулкана Пинатубо. Показатель линейного тренда составил 0.23 % в год. Сезонные вариации характерны для средних широт северного полушария: максимум летом, минимум зимой с амплитудой ~ 75 % от среднего годового содержания $(3.18 \pm 0.05) \cdot 10^{15}$ мол/см².

Спектральный анализ экспериментальных данных выявил составные колебания с периодами 6, 10, 12, 15, 16, 19, 21, 22, 28, 33, 36, 42, 48, 60, 78, 107, 146 и 253 мес, величины которых не противоречат литературным данным, но их точная привязка к определенным гелиогеофизическим явлениям остается дискуссионной. Хотя найденные колебания негармонические, простая статистическая модель с параметрами этих колебаний удовлетворительно описывает временные изменения среднего месячного и годового содержания NO₂ в столбе атмосферы со средними квадратичными отклонениями ~ 4 и 1 % соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 07-05-00091) И МНТЦ (грант Кг-1371).

1. Elokhov A.S. and A.N. Gruzdev. Spectrometric measurements of total NO₂ in different regions of the globe. *Proc. SPIE*, 1993, 2107, 111–112.

Аэрозольная оптическая толща атмосферы центральной части Евразии

Кашин Ф.В., Арефьев В.Н. (vnaref@typhoon.obninsk.ru)
НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Семенов В.К. (vk-semenov@yandex.ru), Синяков В.П.
Киргизский национальный университет, ул. Манаса 101, 720033 Бишкек, Киргизстан

Мониторинг аэрозольной оптической толщи (АОТ) на станции мониторинга «Иссык-Куль» (42° 37' 20" N, 76° 59' 08" E; 1650 м над уровнем моря) ведется с 1982 г. Для определения АОТ измеряется спектральная прозрачность вертикальной толщи атмосферы на длине волны 500 нм.

Данные измерений демонстрируют сезонные вариации, периоды заметного увеличения и сложный линейный тренд АОТ, отражающий долговременные изменения. В годовых величинах АОТ однозначно прослеживается резкое увеличение, вызванное вулканом Пинатубо. Самоочищение атмосферы от вулканического аэрозоля произошло за примерно 2–3 года. В целом за время измерений наблюдается небольшой отрицательный линейный тренд (– 0.13 % в год) и средняя годовая величина АОТ уменьшилась на ~ 4.3 %. Однако в последние 13 лет линейный тренд стал положительным (0.18 % в год). Сезонные изменения АОТ в течение года определяются степенью запыленности воздушных масс: летом более теплые и запыленные, а зимой более холодные и чистые. Минимум сезонных вариаций АОТ приходится на декабрь, максимумы – на апрель и август, а средняя амплитуда сезонных вариаций составила $(9 \pm 4) \%$ от средней годовой величины (0.13 ± 0.01) . В июне имеет место некоторое уменьшение АОТ, связанное с режимом испарения воды с поверхности озера.

Фурье- и вейвлет-анализ выявили большое количество составных колебаний АОТ с периодами от 3 до 153 мес. Параметры этих колебаний вычислены по экспериментальным данным мультирегрессионным методом. Простая статистическая модель, включающая линейный тренд и сумму составных колебаний с вычисленными параметрами, описывает средние годовые величины аэрозольной оптической толщи с погрешностью ~ 4 %. Такое согласие данных измерений и модели свидетельствует о том, что изменения АОТ над центральной частью Евразии в основном обусловлены известными периодическими геофизическими явлениями. При этом модель согласуется и с данными измерений в последние годы. Средние месячные АОТ модель описывает с погрешностью ~ 20 %. Столь высокая ошибка определяется невозможностью надежного учета в этой модели многочисленных короткопериодных колебаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 07-05-00091) и МНТЦ (грант Кг-1371).

Вариации концентрации окиси углерода в пробах приземного воздуха небольшого города

Кашин Ф.В. (kashin@typhoon.obninsk.ru), Арефьев В.Н., Баранов Ю.И., Сизов Н.И.,
Акименко Р.М., Упэнэк Л.Б., Бугрим Г.И.
НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

В течение 10 лет на станции мониторинга "Обнинск" (42° 37' 20" N, 76° 59' 08" E; 1650 м над уровнем моря) методом Фурье-спектроскопии проводились измерения объемной концентрации окиси углерода в пробах приземного воздуха. Примерно 20 % результатов измерений имеют аномально высокие величины, соизмеримые со средней суточной предельно допустимой концентрацией СО. Они обусловлены накоплением СО в приземном воздухе при температурной инверсии и слабом ветре, а также увеличением образования СО при пожарах лесов и торфяников. В течение дня систематически наблюдаются небольшие

кратковременные повышения концентрации СО, связанные с увеличением потока автотранспорта в начале и в конце рабочего дня, а также иногда в обеденное время.

Средняя годовая величина объемной концентрации СО за время измерений уменьшилась на $\sim 7.6\%$, что, вероятнее всего, объясняется улучшением качества автомобилей и использованием более качественных марок бензина. Максимумы и минимумы сезонных вариаций СО, приходится на январь и июнь. Амплитуда сезонных вариаций составила $(53 \pm 10)\%$ от среднего значения (256.5 ± 1) млрд⁻¹. Временные вариации средних месячных значений концентрации СО включают колебания с периодами от 3 до 86 мес, которые в основном соответствуют периодам известных геофизических явлений.

Для прогноза изменений среднего месячного и среднего годового значений концентрации СО использована модель, которая включает линейный тренд и сумму составных колебаний. Хорошее согласие (погрешность менее 1 %) средних годовых данных измерений и модели свидетельствует о том, что изменения концентрации СО в атмосфере в месте наблюдений вызваны в основном известными геофизическими явлениями.

Основные характеристики и тенденции изменчивости концентрации СО по результатам измерений в Обнинске удовлетворительно согласуются с данными наблюдений на 5 станциях мониторинга, расположенных на широтах, близких к широте Обнинска. Коэффициенты корреляции высокие. Линейный тренд на всех станциях отрицательный. Характеристики сезонных вариаций практически совпадают. При этом на Европейском континенте прослеживается четкая тенденция падения концентрации с уменьшением долготы с востока на запад.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07-05-00619).

Результаты измерений углекислого газа в пограничном слое атмосферы в Обнинске

Кашин Ф.В. (kashin@typhoon.obninsk.ru)
НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Приведены результаты измерений концентрации (отношения смеси) СО₂ в пограничном слое атмосферы в Обнинске (Россия, Обнинск, 55.11° с.ш., 36.57° в.д., 183 м над уровнем моря). Отношение смеси СО₂ определяется в пробах приземного воздуха (высота отбора 4 м) и в пробах, отобранных на высотах 25, 100, 200 и 300 м с использованием высотной метеорологической мачты. Метод измерений базируется на принципах абсорбционной спектроскопии, для реализации которого создан аппаратный комплекс, состоящий из фурье-спектрометра, оптической многоходовой кюветы и технологической системы пробоподготовки [1]. Калибровка аппаратуры и методики проводилась путем сравнения результатов анализа в Обнинске и в NOAA ESRL GMD одних и тех же специально отобранных в течение года проб воздуха.

Как показали полученные данные, анализ их временных вариаций затруднен, так как наблюдаемые изменения отношения смеси СО₂ в пограничном слое атмосферы обусловлены воздействием на состав пробы воздуха естественных и антропогенных источников и стоков. Простое усреднение результатов измерений для получения средних за день, за месяц или за год не позволяет надежно определить параметры временной изменчивости отношения смеси СО₂ в пограничном слое атмосферы из-за влияния на экспериментальные данные антропогенных источников углекислого газа. Не дает оптимального результата и статистический метод сглаживания [2], так как число измерений мало и имеются временные разрывы в ряде данных. Поэтому при исследовании временных изменений отношения смеси СО₂ проведена предварительная фильтрация результатов измерений и определены их минимальные и максимальные значения.

Минимальные величины отношения смеси CO_2 определяются в основном естественными источниками и стоком и могут являться показателем «регионального фона». Максимальные величины отношения смеси CO_2 определяются как естественными, так и антропогенными источниками. Разность между ними может характеризовать антропогенный вклад в содержание CO_2 в атмосфере. Приведенные данные показали, что доля антропогенного CO_2 в последние годы падает, что может быть связано с уменьшением техногенных выбросов в атмосферу парниковых газов и в первую очередь углекислого газа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07-05-00619).

1. Baranov Y.I., Baranova E.L. and Kashin F.V. Ecological monitoring of methane, carbon oxide and dinitrogen monoxide in air by the Fourier-transform spectroscopy. *Proc. SPIE*, 1999, **3983**, 488–492.
2. Thoning K.W., Tans P.P., Komhyr W.D. Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory. Analysis of the NOAA GMCC Data, 1974-1985. *J. Geophys. Res.*, 1989, **94**, D6, 8549–8565.

Долговременные тренды озона и двуокиси азота в атмосфере северного Тянь-Шаня (Кыргызстан)

Синяков В.П., Семенов В.К. (vk-semenov@yandex.ru), Сорокина Л.И., Игнатова Н.И.
Кыргызский национальный университет, ул. Фрунзе 547, 720033 Бишкек, Кыргызстан

Арефьев В.Н. (vnaref@typhoon.obninsk.ru)
НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Мониторинг озонового слоя свидетельствует о том, что его восстановление происходит заметно медленнее, чем предсказывали различные модельные расчеты. Это стимулирует создание новых моделей и совершенствование существующих. Для оценки качества моделей необходимо их выводы сравнивать с существующими экспериментальными данными. Особую ценность имеют результаты синхронных измерений озона и озonoактивных малых газовых составляющих атмосферы на озонометрических станциях. Причем ценность этих данных возрастает, если они имеют продолжительность несколько десятков лет и продолжаются в настоящее время.

Синхронные измерения общего содержания озона (X) и общего содержания в утренние (Y_u) и вечерние (Y_e) часы стратосферной двуокиси азота, молекулы которой играют ключевую роль в азотном цикле образования и разрушения озона, проводятся на горной станции "Иссык-Куль" (ИК) (42.60° с.ш., 77.00° в.д., 1650 м над уровнем моря) с 1983 г. Станция находится на берегу горного озера Иссык-Куль в горах Северного Тянь-Шаня (Кыргызстан). Результаты анализа экспериментальных данных приведены в докладе. Для измерения X регистрируется участок спектра (303–325 нм) прямого солнечного излучения и определяются интенсивности на аналитических длинах волн, расположенных в экстремальных точках спектра. Расчет X производится по многоволновой методике. Ошибка разового измерения X около 1 %. Спектры записываются сериями из 10 шт. Интервал между сериями 1 час. Средние за час, день и месяц определяются как средние арифметические. Погрешность определения средних значений X менее 1 %. При измерениях Y_u и Y_e регистрируется участок спектра рассеянного из зенита солнечного света в утренние и вечерние часы при зенитных углах солнца Z от 83 до 97° . Расчет Y_u и Y_e производится по методике DOAS, анализируется весь участок спектра 435–454 нм с учетом опорных спектров и со среднесезонными атмосферными массами. Из наклонных значений Y_u и Y_e определяется величина, соответствующая $Z = 90^\circ$. Погрешность ее составляет около 12 %.

Для определения параметров трендов использовались средние за месяц значения, обработка рядов проводилась по единой методике: сглаживание исходных значений полиномом 3 степени, исключение годовых и полугодовых гармоник, полученные остатки сглаживаются низкочастотным фильтром. Для полученной кривой межгодовых изменений определяется уравнение линейного тренда, коэффициент скорости линейного тренда и

отклонения криволинейного тренда от линейного тренда (аномалии). Рассчитывались коэффициенты корреляции.

Исследования дали следующие результаты. Для интервала наблюдений с 1984 по 2008 гг. средние значения: $X = 317$ е.Д., $Y_y = 2.43 \cdot 10^{15}$ мол/см², $Y_g = 3.9 \cdot 10^{15}$ мол/см². За 25 лет наблюдений ОСО уменьшилось на ~ 9.1 %, Y_y – увеличилось на 54.2 %, Y_g – практически не изменилось. Изменения средних за год значений X заметно отличаются от линейного тренда. Определены коэффициенты корреляции между межгодовыми изменениями ОСО, ОС NO₂. Приведено сопоставление скорости и направления линейных трендов X на станции ИК с другими озонметрическими станциями Центральной Азии, а так же Y_y и Y_g со станциями многолетних наблюдений.

Работа выполнена при поддержке МНТЦ (Проекты KR-151, KR-763 и KR-1371).

Особенности спектроскопических измерений общего содержания окиси углерода в условиях мегаполиса

Джола А.В. (dzhola@yandex.ru), Ракитин В.С., Фокеева Е.В.

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Представлены результаты измерений общего содержания окиси углерода и водяного пара в центре Москвы дифракционным спектрометром среднего разрешения. Экспериментальные спектры обрабатывались с помощью программы, использующей метод наименьших нелинейных квадратов. Программа обработки учитывает вертикальный профиль окиси углерода. В используемом спектральном интервале (2150–2164 см⁻¹) кроме сильных линий поглощения СО и Н₂О находятся слабые линии поглощения N₂O, СО₂ и О₃. Экспериментальный спектр сопоставляется с расчетным, полученным методом line-by-line путем варьирования содержания СО и Н₂О во всей толще атмосферы, а содержания N₂O, СО₂ и О₃ считаются неизменными. В используемой программе расчета содержание СО варьируется не во всей толще атмосферы, а только в нижнем ее слое, что отражает особенность городского вертикального профиля примеси. При этом фоновое содержание СО остается неизменным.

Приведены результаты применения «городской» программы обработки экспериментальных данных 2007–2008 гг. Результаты расчета с учетом вертикального профиля «городского СО» показали уменьшение значений общего содержания примеси, а также городской части содержания, особенно в экстремальных случаях в сравнении с предыдущими методиками расчета. Характер вертикального профиля СО в нижних слоях (до 1000 м) атмосферы практически не влияет на величину получаемого общего содержания окиси углерода над городом.

Исследование влияния облачности на оценки содержания NO₂ в тропосфере по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации

Иванов В.А. (victor.ivanov@list.ru), Елохов А.С., Постыляков О.В.

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Международная сеть наблюдательных станций NDACC (бывшая NDSC) использует измерения спектра рассеянной в зените солнечной радиации в сумеречный период для определения вертикального распределения NO₂ в стратосфере [1]. В силу своей малости фоновые содержания NO₂ в тропосфере оказывают незначительное влияние на точность его определения в стратосфере. Из-за особенностей рассеяния света в сумеречный период (и соответствующих весовых функций решения обратной задачи), облачность достаточно мало влияет на точность определения стратосферного содержания NO₂.

Однако, повышенные концентрации тропосферного NO_2 , которые характерны для загрязненного городского воздуха, проявляются в результатах измерений. Рассматривается методика оценки содержания NO_2 в тропосфере по комбинации зенитных наблюдений в дневное время и в сумеречный период. Оценка выполняется в предположении о сосредоточении NO_2 в нижней тропосфере. В этом случае точность оценки интегрального тропосферного содержания зависит от вариаций весовых функций решения обратной задачи в слое сосредоточения примеси. Для оценки этих вариаций выполнены расчеты весовых функций (в иной терминологии послойных эффективных воздушных масс) обратной задачи. Расчеты выполнялись по модели переноса МСС++ [2] с учетом многократного рассеяния и сферичности атмосферы. Проанализировано влияние основных факторов, влияющих на изменчивость весовых функций, таких как облачность и альbedo подстилающей поверхности.

На основе результатов численных исследований проводится анализ спектрометрических измерений которые с апреля 2008 г. выполняются на территории МГУ им. М.В. Ломоносова. Анализ, в частности, показал наличие вариаций содержания двуокиси азота в нижней тропосфере в широких пределах от фоновых значений (ниже порога обнаружения прибора $5 \cdot 10^{14}$ мол/см²) до величин $4 \cdot 10^{17}$ мол/см², что на два порядка превышает стратосферное содержание примеси.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №08-05-01046.

1. Груздев А.Н., Елохов А.С. Валидация результатов измерений содержания NO_2 в вертикальном столбе атмосферы с помощью прибора ОМІ с борта спутника EOS-Aura по результатам наземных измерений на Звенигородской научной станции. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, 2009, **45**, (в печати).
2. Постыляков О.В.. Модель переноса радиации в сферической атмосфере с расчетом послойных воздушных масс и некоторые ее приложения. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, 2004, **40**, 3, 314–329.

Результаты определения профилей содержания озона над Санкт-Петербургом по наземным микроволновым измерениям

Косцов В.С. (vlad@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М., Волкова К.А.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Куликов Ю.Ю. (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Красильников А.А.
Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова 46, 603950 Н. Новгород, Россия

С 2007 года на кафедре физики атмосферы физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) проводятся измерения профилей содержания озона в диапазоне высот 20–60 км с помощью микроволнового (МКВ) озонметра. Для интерпретации измерений спектров нисходящего МКВ излучения в линии поглощения озона 110.836 ГГц с целью получения вертикальных профилей содержания озона используются две методики. Первая методика (СПбГУ) основана на комплексном восстановлении вертикальных профилей содержания озона и основных, влияющих на нисходящее МКВ излучение, параметров атмосферы путем решения обратной задачи методом статистической регуляризации. Вторая методика, разработанная в Институте прикладной физики (ИПФ) РАН, использует аналитическую параметризацию профиля озона; при этом искомые коэффициенты определяются методом минимизации среднеквадратического расхождения между измеренными и рассчитанными спектрами МКВ излучения.

Проведенные численные оценки возможностей первого метода показали, что в слоях толщиной 8–10 км погрешность определения содержания озона составляет в стратосфере 7–16 %, в области стратопавзы и нижней мезосферы – 25–32 %. Интегральное содержание озона в высотном диапазоне 22–60 км в случае слабого тропосферного поглощения

определяется с погрешностью 4 %, в случае сильного поглощения (при существенных значениях влагосодержания атмосферы) – с погрешностью 6 %.

Проведено сравнение профилей озона, восстановленных с помощью двух методик. Проанализированы измерения содержания озона над Санкт-Петербургом за период измерений 2007–2008 гг. Выполнено сопоставление наземных МКВ измерений профилей содержания озона со спутниковыми данными (эксперимент MLS). Исследованы временные вариации содержания озона над Санкт-Петербургом.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант 08-05-00952) и Рособразования (гранты гранты АВЦП 1138, АВЦП 3846).

Наземные спектроскопические измерения вертикальных содержаний озона и NO₂ в районе Санкт-Петербурга

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Для проведения измерений используется разработанный в НИИФ СПбГУ автоматизированный спектральный комплекс (“КСВУ”) на основе сканирующего монохроматора, позволяющий регистрировать спектр рассеянного излучения в интервале 428–515 нм с разрешением 1.3 нм. Измерительная аппаратура установлена в здании НИИФ СПбГУ в Петергофе (29.82° в.д., 59.88° с.ш.), регулярные наблюдения ведутся с апреля 2002 года. Измерения производятся непрерывно в автоматическом режиме при зенитных углах солнца меньше 96°, т.е. как в дневное время, так и в сумеречных условиях. С июня 2008 года одновременно с КСВУ аналогичные измерения содержаний озона и NO₂ осуществляются также с помощью компактного автоматического спектрометра высокого разрешения OceanOptics HR4000, в интервале 398–607 нм с разрешением 0.6 нм. Результаты наземных измерений регулярно сравниваются с информацией о глобальном распределении озона и NO₂ по данным спутниковых систем измерений, установленных на околополярных солнечно-синхронных орбитах – ERS-2 GOME, Envisat SCIAMACHY, Aura OMI, EPS-MetOp GOME-2. Дополнительно, для анализа антропогенного вклада в наблюдаемые вариации содержания NO₂, привлекаются данные прямых измерений концентраций NO₂ на станциях Автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха (Правительство Санкт-Петербурга). Предварительные результаты наземных измерений НИИФ СПбГУ – утренние и вечерние общие содержания озона и NO₂, а также дневное содержание NO₂ в тропосфере – доступны в оперативном режиме по адресу http://troll.phys.spbu.ru/Personal_pages/Ionov/welcome.html.

По результатам измерений годовой ход общего содержания озона характеризуется максимальными значениями в марте и минимальными в октябре, с амплитудой ~ 36 %. Средний годовой ход стратосферного NO₂ за 2004–2008 гг. характеризуется максимальными значениями в июне и минимальными в декабре, с амплитудой ~ 130 % и ~ 110 % для утренних и вечерних измерений, соответственно. Вечерние значения содержания превышают утренние в среднем на ~ 30%. Изучены также вариации содержания тропосферного NO₂ в Санкт-Петербурге как на основе данных измерений НИИФ СПбГУ, так и данных спутникового зондирования аппаратурой GOME и OMI, а также измерений приземных концентраций NO₂ в Санкт-Петербурге. Получены согласованные оценки недельного цикла вариаций NO₂ с характерным минимумом содержания в выходные дни, ~ 20–30 % от максимума в будни.

С использованием данных метеонаблюдений, а также средств численного моделирования (модель HYSPLIT), исследовано влияние динамики приземного слоя на результаты одновременных наземных и спутниковых измерений тропосферного NO₂. Показано, что максимальные содержания регистрируются наземной аппаратурой при северо-

восточном ветре, а наилучшее согласие между различными системами наблюдений достигается при измерениях внутри шлейфа городского загрязнения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 06-05-64987, 06-05-64909), а также Министерства образования и науки РФ (гранты АВЦП 1138, АВЦП 3846).

Применение обертонового СО лазера для газоанализа атмосферы

Яковлев С.В. (roa@iao.ru), Романовский О.А., Харченко О.В.
Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зюева, 634021 Томск, Россия

В условиях нарастающего загрязнения атмосферы большое значение приобретает задача оперативного контроля концентрации загрязняющих атмосферу газовых примесей, которую можно решить с помощью дистанционного лазерного зондирования атмосферы. Среди методов лазерного контроля газовых компонент атмосферы наибольшее распространение получил метод дифференциального поглощения (МДП), основанный на эффекте резонансного поглощения газами лазерного излучения.

Развитие лазерной дистанционной ИК спектроскопии требует разработки и внедрения новых лазерных источников излучения в среднем ИК диапазоне, способных генерировать излучение в возможно более широком диапазоне длин волн с малым шагом перестройки частоты излучения. Спектральный диапазон, в котором расположены линии генерации СО лазера (длина волны 4.7–8.2 мкм для основных колебательных переходов и 2.5–4.2 мкм для обертоновых переходов) [1, 2], охватывает участки спектра, которые являются наиболее информативными с точки зрения лазерного зондирования целого ряда малых газовых составляющих (МГС) атмосферы (H_2O , CO_2 , CH_4 , NO_2 , N_2O и др.). На импульсной лазерной установке с криогенным охлаждением [2] была получена генерация обертонового излучения на ~ 400 линиях.

Для исследования возможностей применения излучения широкодиапазонного СО лазера для дистанционного лазерного зондирования МГС атмосферы нами был рассчитан спектр пропускания атмосферы. С помощью разработанной методики [3] был проведен поиск информативных длин волн для лазерного зондирования малых газовых компонент атмосферы: N_2O , NO_2 , H_2CO , CH_4 , C_2H_2 , HCl , HBr , HCN . Для оценки возможностей лидарного зондирования МГС атмосферы на предложенных длинах волн был проведен расчет лидарных сигналов для вертикальной и однородной горизонтальной трассы. В целом проведенные расчеты подтверждают перспективность применения обертоновых частот излучения СО лазера при зондировании следующих малых газовых составляющих атмосферы: N_2O , NO_2 , H_2CO , CH_4 , C_2H_2 , HCl , HBr , HCN .

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 07-05-00765-а.

1. Басов Н.Г., Ионин А.А., Котков А.А., Курносов А.К. и др. Импульсный лазер на первом колебательном обертоне молекулы СО, действующий в спектральном диапазоне 2.5–4.2 мкм. 1. Многочастотный режим генерации. *Квант. электрон.*, 2000, 30, 771.
2. Басов Н.Г., Ионин А.А., Котков А.А., Курносов А.К., и др. Импульсный лазер на первом колебательном обертоне молекулы СО, действующий в спектральном диапазоне 2.5–4.2 мкм. 2. Частотно-селективный режим. *Квант. электрон.*, 2000, 30, 859.
3. Романовский О.А. Методика и результаты поиска информативных длин волн зондирования газовых компонент атмосферы. *Прикладная физика*, 2009, 1, 24–30.

Некоторые экспериментальные результаты, полученные при работе пассивного канала, встроенного в МРЛ-5

Дроздов Д.В., Рыбаков Ю.В., Щукин Г.Г. (ggschukin@mail.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Методы активной и пассивной радиолокации успешно применяются для дистанционного зондирования различных параметров облаков и осадков, и наибольшая эффективность возникает при комплексировании их в единой системе. В [1] был предложен альтернативный ранее применявшимся метод объединения обеих систем. При этом общим остаётся только параболическое зеркало МРЛ-5, а весь тракт пассивного канала располагается независимо и параллельно тракту активного канала МРЛ-5, работающего на $f = 9.6$ ГГц. Пассивный канал представляет собой компенсационный радиометр полной мощности и использует в своей основе серийные конвертеры спутникового телевидения, работающие в Ku диапазоне $f = 10.7\text{--}12.7$ ГГц [2]. Основной проблемой при объединении СВЧ радиометра и активного локатора с большой мощностью излучения (160–250 кВт в импульсе) является электромагнитная совместимость. Согласно сделанным ранее оценкам, уровень развязки должен составлять не менее 140 дБ [3] для систем, работающих на одной поляризации и в общем частотном диапазоне.

Главной целью данной работы являлось исследование особенностей совмещения при альтернативном методе, когда активный и пассивный каналы работают на разных поляризациях и в несколько смещённых диапазонах. Для этого были сняты угломестные зависимости радиоярких температур пассивного канала с включённым и выключенным активным каналом МРЛ-5. Измерения проводились с разными типами конвертеров и различными уровнями фильтрации мешающего мощного сигнала передатчика МРЛ-5. В докладе показана типичная картина угломестных разрезов. Там же приведены уровни сигнала при приёме собственного излучения атмосферы в зените вне обтекателя МРЛ-5 и уровень сигнала от излучения «абсолютно чёрного тела», который используется для абсолютной калибровки канала СВЧ радиометра. Кроме этого, был апробирован вариант дистанционной калибровки с помощью калибратора, в роли которого выступал первый каскад СВЧ усилителя спутникового конвертера [4].

Результаты проведённых исследований позволяют говорить об успешном решении задач электромагнитной совместимости при использовании альтернативного метода совмещения, возможности применения серийных конвертеров Ku диапазона для построения СВЧ радиометров и перспективного использования низкотемпературного дистанционного калибратора.

Работа выполнена по госбюджетной тематике в рамках темы 6.2.1 по плану Росгидромета.

1. Рыбаков Ю.В., Г.Г. Щукин. Альтернативный вариант встраивания пассивного канала в метеолокатор МРЛ-5. Сб. тез. 2-й Всероссийской научной конференции-семинара «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике», СПСА-2006, Муром.
2. Рыбаков Ю.В. и др. Применение СВЧ-радиометров для обнаружения подповерхностного очага торфяного пожара. Сб. докл. 2 Всероссийской научной конференции «Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы аэрокосмическими средствами». СПб., 2004, 119–122.
3. Щукин Г.Г. и др. Комплексное активно-пассивное радиолокационное зондирование облачности. Труды ГГО, 1978, вып. 411, 3–12.
4. Герасимов О.А., Д.В. Дроздов, А.Е. Никитенко, Ю.В. Рыбаков. Исследование пассивного канала с дистанционной калибровкой. Сб. тез. XIV региональной конференции по распространению радиоволн. 11–13 ноября 2008, СПб, Петродворец, 92–93.

Remote Sensing of Trace Gases during Boundary Layer Turbulence

Wilson R. Chris (wilsonR1@umbc.edu), McMillan W., Yurganov L.

University of Maryland Baltimore County (UMBC) 1000 Hilltop Rd., Baltimore MD, 21250, USA

The Atmospheric Emitted Radiance interferometer (AERI) instrument was developed by the University of Wisconsin-Madison (UW) for the United States Department of Energy (DOE) Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Program to provide autonomous profiling of temperature and moisture in the atmospheric planetary boundary layer (PBL). With its ability to provide frequent vertical profiles during both day and night, AERI is an excellent instrument to examine organized turbulent structures in the PBL. A Previous study using AERI data demonstrated the impact of Horizontal Convective Rolls (HCR) on boundary layer water vapor profiles with 1 minute sampling to monitor these rapidly changing structures. At 1 minute temporal resolution, AERI could provide observations of trace gas mixing into and out of the PBL when the turbulent structures occur. Unfortunately, decreasing the sample time from the standard 8 minutes lowers the signal to noise ratio in the spectra making trace gas retrieval more difficult. A UW developed Principle Component Analysis (PCA) filter removes uncorrelated noise across each of AERI's two bands enabling reasonable temperature and water vapor profiling from the rapid sample data. However, this PCA filter does not sufficiently reduce the noise such that the UMBC developed carbon monoxide (CO) retrievals can be accurately performed on the rapid sample AERI spectra. We will present our trace gas retrievals for a few days when Horizontal Convective Rolls occurred. We will compare our trace gas retrieval with ground-based sensors at a local tower, satellite retrieved CO, and aircraft measurements. Modifying UW's PCA technique we will present improved CO retrievals at 1 minute resolution.

A multi-year comparison of PM_{2.5} and AOD in the region of Finnish capital Helsinki

Natunen A. (antti.natunen@fmi.fi), Arola A., Mielonen T., Huttunen J., Komppula M., and Lehtinen K.E.J.

Finnish Meteorological Institute, P.O. Box 1627, FI-70211 Kuopio, Finland

Particulate matter (PM) is a significant air pollutant originating from natural and anthropogenic sources. The ground-based network of measurements is usually sparse, thus, there have been several attempts to obtain PM estimates from satellite measurements. However, the relationship is different from one location to another due to different environment and site properties, for instance local pollution sources. In addition, the chemical composition and concentration of PM changes substantially as a function of time and location.

We studied the relationship between satellite-based aerosol optical properties and aerosol mass concentration measured on the ground. The aerosol optical depth (AOD) is a measure describing atmospheric columnar attenuation of radiation caused by aerosols. AOD is retrieved from data supplied by Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on board two satellite platforms Terra and Aqua. PM concentration with aerodynamic diameter less than 2.5 μm (PM_{2.5}) is measured on the ground. The PM data for this study is from four sites within the Helsinki (Finnish capital) region with approximately 1 million inhabitants. Depending on the site, the length of the data record varies between two and seven years starting in 2000 and ending in 2006.

In this study, we investigated how long temporal average of PM supplies the best correlation with AOD of the same day. We found, that depending on the site, the temporal PM averaging of few hours resulted in a better correlation with AOD than the one-hour PM averages. Furthermore, the correlation was strongest between monthly PM and AOD averages ($R = 0.75$). We also studied PM and AOD gradients between an urban and a rural site. Monthly averages at the urban site were typically higher than those at the rural site, still having similar seasonal behaviour.

Исследование временной изменчивости общего содержания метана и окиси углерода в атмосфере вблизи Санкт-Петербурга

Макарова М.В. (zaits@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Ростовцева И.О., Осипов С.И.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты измерений содержания метана (1991–2009 гг.) и окиси углерода (1995–2009 гг.) во всей толще атмосферы вблизи Санкт-Петербурга. Даны основные статистические характеристики этих рядов. Средний годовой ход общего содержания (ОС) метана характеризуется максимальными значениями в декабре–январе и минимальными в июне–августе при амплитуде годового хода $\sim 3.6\%$. Средний годовой ход ОС окиси углерода имеет амплитуду $\sim 20\%$ с максимальными значениями содержания СО в феврале и минимальными – в июле. Годовые изменения ОС метана и окиси углерода для отдельных лет могут существенно отличаться от полученного среднего годового хода. Статистически значимых линейных трендов ОС CH_4 и СО за соответствующие периоды измерений не выявлено. Получено, что для 1991–2008 гг. показатели линейного тренда ОС CH_4 для зимних и летних месяцев имели противоположные знаки (положительный для января – $0.6 \pm 0.2\%$ /год и февраля – $0.4 \pm 0.2\%$ /год и отрицательные для июля – $0.3 \pm 0.2\%$ /год и августа – $0.2 \pm 0.1\%$ /год), что свидетельствует о тенденции увеличения амплитуды годового хода ОС CH_4 . Спектральный анализ рядов ОС CH_4 и СО позволил выделить с доверительной вероятностью 80 % гармоники 8, 12, 13, 18, 26, 32, 55 месяцев, а также провести оценку амплитуд этих гармоник.

Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ 07-05-00708-а и 08-05-00857-а; НОЦ – Аналитическая ведомственная Целевая Программа 1138 (АВЦП 1138), УНОЦ – Аналитическая ведомственная Целевая Программа 3846 (АВЦП 3846).

Исследование пространственно-временной изменчивости содержаний СО и NO_2 в тропосфере над Северо-западом РФ по экспериментальным данным и результатам моделирования

Макарова М.В. (zaits@troll.phys.spbu.ru), Ионов Д.В., Ракитин А.В., Косцов В.С.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты моделирования полей концентрации и содержаний СО и NO_2 в тропосфере над Северо-западным регионом РФ для периода января–первой половины февраля 2006 г. При расчетах использованы: мезомасштабная метеорологическая модель WRF [1], модель SMOKE (создание входной информации по эмиссиям загрязняющих компонент для CMAQ) [2] и транспортно-фотохимическая модель CMAQ (моделирование качества воздуха в тропосфере [3]. Граничные и начальные условия для транспортно-фотохимической модели CMAQ были сформированы на основе доступных экспериментальных данных [4, 5, 6] и результатов анализа трансграничного переноса примесей в атмосфере с использованием модели HYSPLIT [7]. Интенсивности основных источников загрязняющих компонент (СО, NO_2 , NH_3 , SO_2 , летучие органические соединения, $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}) были заимствованы из официальных источников информации и научных публикаций [8]. Проведен анализ измерений NO_2 и СО для января–первой половины февраля 2006 г. на основе данных наземных измерений НИИФ [4, 5] и результатов спутниковых измерений MOPITT [9] и AURA OMI [10]. Выделены периоды (16–22 января и 1–3 февраля), когда наблюдались существенные превышения содержаний NO_2 и СО над фоновыми (для этого периода) значениями. Сравнение результатов измерений и моделирования полей концентрации исследуемых компонент показало их удовлетворительное согласие, а также позволило оценить вклад Санкт-Петербурга

(являющегося мощным антропогенным источником загрязнений) в пространственно-временную изменчивость CO и NO₂ в тропосфере.

Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ 07-05-00708-а, НОЦ – Аналитическая ведомственная Целевая Программа 1138 (АВЦП 1138), УНОЦ – Аналитическая ведомственная Целевая Программа 3846 (АВЦП 3846).

1. www.wrf-model.org
2. www.smoke-model.org
3. www.maq-model.org
4. Макарова М.В., А.В. Поберовский, Ю.М.Тимофеев. Временная изменчивость общего содержания окиси углерода в атмосфере в районе Санкт-Петербурга. Изв. РАН, ФАО, 2004, 40, 3, 359–369.
5. Поберовский А.В., Шашкин А.В., Ионов Д.В., Тимофеев Ю.М. Вариации содержания NO₂ в районе Санкт-Петербурга по наземным и спутниковым измерениям рассеянного солнечного излучения. Изв. РАН, ФАО, 2007, 43, 4, 547–556.
6. <http://www.ndacc.org/>
7. <http://www.arl.noaa.gov/ready.html>
8. <http://www.nii-atmosphere.ru/>
9. <http://www.eos.ucar.edu/mopitt/>
10. <http://disc.gsfc.nasa.gov/Aura/OMI/>

Изучение озона в атмосфере над Киевом

Синявский И.И. (syn@mao.kiev.ua), Шаврина А.В., Павленко Я.В., Велесь А.А.,
Шеминова В.А.

Главная астрономическая обсерватория НАНУ, ул. Ак. Заболотного 27, 03680, Киев, Украина

Наземные наблюдения общего содержания озона и его высотного распределения с использованием фурье-спектрометра проводятся в Главной астрономической обсерватории НАН Украины по проекту ESA-NIVR-KNMI 2907 "OMI validation by ground based remote sensing: ozone columns and atmospheric profiles".

Наблюдения прямого солнечного излучения были выполнены в период времени август–октябрь 2005 г., июнь–октябрь 2006 г., март–октябрь 2007 г. и апрель–сентябрь 2008 г. при условиях безоблачного неба, в некоторые дни измерения проводились на протяжении всего дня, покрывая полный диапазон зенитных углов положения Солнца.

Общее количество озона и его профили для 2005 года были получены моделированием полосы озона 9.6 мкм с использованием MODTRAN 3, где модель разработана на основе базы данных молекулярного поглощения HITRAN-96. Наблюдения в 2006 году интерпретировались с использованием версии MODTRAN 4. Для создания входных файлов для моделирования использованы «априорные» данные, полученные с помощью спутниковых измерений, а именно: профили температуры и водяного пара – Aqua-AIRS, стратосферные профили озона – Aura-MLS, климатологические профили озона – TEMIS, а также непосредственные измерения поверхностного содержания озона. Значения общего содержания озона для измерений 2006 г. лучше согласуются с данными OMI-TOMS и OMI-DOAS. Стандартная ошибка составляет 1.11 % и 0.68 %.

Данные AURA-MLS версии 2.2, ставшие доступными в 2007 г., дали возможность восстанавливать тропосферные профили озона. Доступные для нескольких дней тропосферные профили озона Aura-TES позволили провести их сравнение с нашими восстановленными профилями для проверки правильности. Выполнен предварительный анализ изменчивости озона тропосферы. Наблюдения в марте–октябре 2007 демонстрирует ежедневно фотохимическую изменчивость тропосферного озона и показывают процессы смешивания в течение ночи. Данные AURA-MLS версии 2.2 были также использованы для анализа наблюдений FTIR 2008. Получены значения общего содержания озона, которые в среднем ниже OMI-DOAS на 2.85 DU и OMI-TOMS – на 0.29 DU; стандартная ошибка 1.18 % and 0.99 % соответственно.

Работа выполнена при поддержке Украинского космического агентства (2007–2008).

Статистическая регуляризация и ортогональные функции радиометрических измерений температуры в пограничном слое атмосферы

Юшков В.П. (yushkov@phys.msu.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2,
119991 Москва, Россия*

На Физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова совместно с исследованиями, проводимыми в ИФА РАН, Гидрометцентре России и ЦАО Росгидромета, ведутся измерения профилей температуры в атмосферном пограничном слое (АПС) с помощью сканирующего СВЧ радиометра МТП-5. Эти исследования, начатые в МГУ весной 2008 г., также сопровождаются измерениями в загородной зоне на Звенигородской научной станции ИФА РАН, что позволяет оценивать разность температур в городской и загородной местности и изучать городской остров тепла. Так как разностные измерения должны иметь значительно большую точность, чем абсолютные, и часть отличий может быть связана с калибровкой разных приборов, высотой их установки или различием типов подстилающей поверхности в местах измерений, анализ принципов измерения такими приборами требует специального внимания.

Представленный доклад посвящен анализу возможностей профилемера МТП-5 с точки зрения геофизического смысла проводимых измерений и тех характеристик, которые получаются в результате измерений. В докладе рассматривается принцип измерений, хорошо известный по работам разработчиков прибора, и методика решения обратной задачи восстановления профилей температуры. На основе этого анализа показано, что прибор по существу измеряет средние по «скин-слою» наклоны температуры (производные возрастающих порядков) или главные «моды» изменчивости, и именно эти характеристики являются геофизической составляющей измерений. Невозможность измерений резких градиентов температуры, часто наблюдаемых в устойчиво стратифицированном пограничном слое, является характерным свойством этих приборов, но не снижает геофизической ценности тех характеристик, которые измеряет прибор. В докладе будут представлены характерные синоптические ситуации, связанные с производными высоких порядков и частоты их повторяемости по данным наблюдений в МГУ.

На основе проведенного анализа предложена схема совершенствования методики восстановления профилей потенциальной температуры в АПС. С геофизической точки зрения рассматривается выбор опорных функций, соответствующих повторяющимся синоптическим ситуациям. Сравниваются два варианта выбора опорных функций, которые представляют две формы статистической регуляризации обратной задачи: ЭОФ вертикальных профилей потенциальной температуры в АПС и ЭОФ радиояркостной температуры при угломестном сканировании. Первый вариант предпочтительнее при наличии априорной информации об изменчивости профилей температуры в пограничном слое. Второй не требует такой информации, обладает большей чувствительностью к вариациям принимаемого сигнала, но не гарантирует быструю сходимость рядов разложения профилей температуры в АПС.

Автор благодарит Е.Н. Кадыгрова за помощь в работе с профилемером МТП-5, А.В. Троицкого за полезные обсуждения его принципов работы, Р.Д. Кузнецова за проведение измерений на ЗНС ИФА РАН и М.А. Каллистратову за постоянную поддержку.

Выполнение исследований поддержано грантами РФФИ 07-05-13610 и 08-05-00984.

Оптические профили лунных затмений: связь с аэрозолем, водяным паром и озоном

Угольников О.С. (ougolnikov@gmail.com), Маслов И.А.

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

Работа содержит обзор результатов наблюдений 5 лунных затмений в 2004–2008 годах. На основе фотометрии поверхности Луны в тени, полутени и вне затмения строится оптическая карта земной тени. Она отражает свойства атмосферы над областями лимба, где солнечное излучение преломляется и уходит в область тени. Геометрия лунного затмения позволяет проводить исследования различных слоев атмосферы над лимбом. Схема аналогична космическому зондированию атмосферы, где роль космического аппарата играет Луна.

Измерения в ближней инфракрасной области спектра вне полос поглощения атмосферных газов указывают на существенную неоднородность тени и отличие яркости поверхности Луны от данных модельных расчетов для газовой атмосферы. Эта разница связывается с аэрозольным ослаблением, которое можно вычислить из наблюдений. Результаты показывают увеличение содержания аэрозоля в верхней тропосфере экваториальных материковых зон для затмений 4 мая 2004 года и 3 марта 2007 года. В то же время экваториальные морские зоны содержат меньше аэрозоля, в чем можно было убедиться во время затмений 21 февраля и 16 августа 2008 года. Видна корреляция содержания аэрозоля и скоплений облаков на всех широтах. В южной полярной атмосфере области, богатые аэрозолем, соответствуют локальным минимумам общего содержания озона. В северном полушарии эта связь отсутствует.

Измерения в области поглощения водяного пара, проведенные во время затмения 3 марта 2007 года, показывают хорошую корреляцию результатов в верхней тропосфере с космическими измерениями общего содержания водяного пара. Эта связь позволяет определить характерную шкалу вертикального распределения водяного пара в атмосфере, которая оказывается близкой к 1.3 км, немного изменяясь с широтой.

Возможности лидарного зондирования МГС и метеорологических параметров атмосферы с помощью многоволнового лазера на парах стронция

Яковлев С.В. (roa@iao.ru), Бочковский Д.А., Романовский О.А., Харченко О.В.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зueva, 634021 Томск, Россия

Спектральные диапазоны, в которых расположены линии генерации стронциевого лазера, охватывают участки спектра, которые являются наиболее информативными с точки зрения лазерного зондирования как основных МГС и метеорологических параметров атмосферы, так и газовых компонент, представляющих собой сильные загрязнители, токсины, взрывчатые или наркотические вещества. Надежное дистанционное детектирование таких веществ в настоящее время весьма актуально. Представляется перспективным использование для решения этих задач лазера на парах стронция, имеющего ряд линий генерации в ближней и средней ИК области спектра, обладающего высокой эффективностью и мощностью.

Целью работы является исследование возможностей применения многоволнового лазера на самоограниченных переходах SrI и SrII для лазерного дистанционного зондирования методом дифференциального поглощения (МДП) малых газовых составляющих (МГС) и метеорологических параметров атмосферы. Излучение стронциевого лазера перекрывает спектральный диапазон 1–6.2 мкм, являющийся информативным с точки зрения лазерного газоанализа атмосферы. Чтобы изучить возможность применения излучения многоволнового Sr лазера для дистанционного лазерного зондирования МГС атмосферы нами были рассчитаны спектры пропускания атмосферы. Расчет проводился по

методу “line by line” с использованием данных о спектральных параметрах линий поглощения основных атмосферных газов для приземной трассы зондирования длиной 1 км и стандартной модели атмосферы (лето, средние широты).

Анализ результатов показал, что часть линий излучения стронциевого лазера весьма сложно использовать при трассовом газоанализе атмосферы из-за сильного мешающего поглощения излучения водяным паром. Но наряду с линиями, которые полностью поглощаются на трассе длиной 1 км, в спектре Sr лазера имеются линии, которые попадают в «микроокна» прозрачности атмосферы и могут быть использованы при дистанционном зондировании по методу дифференциального поглощения. Сильные линии поглощения водяного пара с центрами 2.69 и 2.92 мкм перспективны для измерения профилей концентраций влажности атмосферы на атмосферных трассах различной протяженности.

Показано, что использование сильных линий водяного пара и совпадающих с ними линий генерации стронциевого лазера дает возможность определять фоновые концентрации водяного пара на трассах длиной до 100 м. Как показали результаты расчетов, линия излучения стронциевого лазера в области спектра 3 мкм может быть использована для обнаружения на трассах длиной 1 км выбросов HCN на уровне 0.1 ppm.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-05-99035-р_офи.

Исследование тропосферных неоднородностей сетью станций приемников спутниковых навигационных систем

Хуторова О.Г. (olga.khutorova@ksu.ru), Тептин Г.М., Васильев А.А., Хуторов В.Е., Курбангалиев Т.Р.

Казанский государственный университет, физфак, Кремлевская 18, 420008, Казань, Россия

Атмосферные вариации с различными масштабами определяют значительную долю дисперсии всех атмосферных параметров. Они же обуславливают флуктуации параметров электромагнитных волн, распространяющихся в атмосфере. В Европе, США, Японии существующие сети GPS приемников используются для задач оперативного мониторинга полей водяного пара.

В работе ставится задача мониторинга неоднородной структуры тропосферы с помощью сети приемников спутниковых систем позиционирования ГЛОНАСС-GPS, которая позволит дополнить измерения наземных станций атмосферного мониторинга. Анализ многолетних рядов коэффициента преломления, полученных по наземным метеопараметрам показал присутствие волновых вариаций с различными периодами. Обнаружено, что существенно влияние мезомасштабных волн с периодами от 5 минут до 16 часов. Соответствующие амплитуды вариаций индекса рефракции имеют порядок 10–50. Горизонтальные длины волн этих вариаций имеют наиболее вероятные значения 2–30 км. Среднемноголетний вклад мезомасштабных вариаций в общую дисперсию индекса рефракции составляет 16–20 %, в отдельные промежутки времени он может превышать амплитуду суточного хода в 5–7 раз.

В Казани организована сеть наземных пространственно-разнесенных высокоточных приемников систем GPS-ГЛОНАСС, которая позволяет оценить поле индекса рефракции электромагнитных волн с помощью параметров принятых радиосигналов с космических аппаратов. Пространственный разнос станций на расстояния от 3 до 20 км позволяет исследовать мезомасштабную структуру тропосферы. Решается обратная задача отдельно для горизонтальной и вертикальной структуры, метод статистической регуляризации Тихонова позволяет определить средний вертикальный профиль индекса рефракции радиоволн.

Показано, что горизонтальная структура зенитной тропосферной задержки хорошо аппроксимируется полиномом. Результаты решения обратной задачи сравниваются с результатами численного моделирования и наземными наблюдениями мезомасштабных волновых и макротурбулентных неоднородностей в тропосфере.

СЕКЦИЯ 3. ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ

Председатель: с.н.с. Л.П. Басс (ИПМ РАН, Москва)

Сопредседатели: проф. Ю.Н. Пономарев (ИОА СО РАН, Томск), в.н.с. В.М. Осипов (НИИКИ ОЭП, Сосновый Бор), в.н.с. Е.П. Зеге (Институт Физики НАНБ, Минск)

Приложение метода редукции общих соотношений инвариантности к решению краевых задач теории переноса излучения для случая дисперсных сред различной конфигурации

Роговцов Н.Н. (rogovtsov@bntu.by)

Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости 65, 220013 Минск, Республика Беларусь

При решении разнообразных краевых задач теории переноса излучения (РТТ) для случая сильно анизотропных индикатрис рассеяния и дисперсных сред достаточно сложной конфигурации (с точки зрения их форм и расположения источников излучения) наиболее широко используются различные численные методы и метод Монте-Карло. Однако для установления общих закономерностей процесса переноса излучения в таких дисперсных средах и нахождения локальных оптических характеристик весьма желательно найти в явном аналитическом виде решения хотя бы некоторых классов указанных выше краевых задач РТТ.

Среди строгих классических аналитических методов, на основе которых удалось получить решения некоторых частных типов краевых задач РТТ, следует отметить метод интегральных преобразований и метод Кейса. Ряд результатов такого же рода был также получен с использованием понятий и конструкций функционального анализа. Кроме указанных выше строгих методов при решении прикладных проблем РТТ зачастую используются приближенные аналитические методы, в основу которых положены определенные априорные предположения об индикатрисе рассеяния и структуре полей излучения в дисперсных средах. Но в отличие от численных методов и метода Монте-Карло данные методы не позволяют получать решения краевых задач РТТ с наперед заданной точностью. Более общим, эвристичным и конструктивным по сравнению с упомянутыми выше аналитическими методами является метод редукции общих соотношений инвариантности (GIRRM), который был предложен и развит в работах [1–8]. С помощью GIRRM можно находить аналитические (полуаналитические) и численные решения краевых задач РТТ даже для случая произвольной индикатрисы рассеяния и дисперсных сред, конфигурация которых не имеет какой-либо содержательной симметрии. Кроме этого, GIRRM можно использовать для решения краевых задач, выходящих за рамки РТТ (см., например, [8]). В основу GIRRM были положены общий принцип инвариантности [2, 4, 7] и общие соотношения инвариантности [1–4, 7], которые связывают между собой решения различных или однотипных краевых задач РТТ.

В докладе будут кратко изложены основные положения GIRRM и приведен целый ряд примеров аналитического (полуаналитического) решения с его помощью краевых задач РТТ для случая дисперсных сред различной конфигурации и индикатрис рассеяния, вытянутых в направлении вперед. В частности, будет показано, что с использованием GIRRM можно находить строгие, асимптотические и приближенные аналитические (с априорной оценкой их точности) выражения для характеристик полей излучения в дисперсных средах (в частности, оптически толстых) достаточно сложной конфигурации. Кроме этого, в качестве дополнительной иллюстрации эффективности использования GIRRM будет описан новый эффективный полуаналитический алгоритм отыскания усредненной по азимуту функции отражения для случая произвольной вытянутой вперед индикатрисы рассеяния и макроскопически однородной плоскопараллельной полубесконечной дисперсной среды.

1. Роговцов Н.Н. Восстановление внутреннего распределения поля излучения по его характеристикам на границах рассеивающей среды. *Изв. АН СССР. ФАО*, 1980, **16**, 5, 244–253.
2. Роговцов Н.Н. Установление связи между полями излучения внутри и на границах рассеивающего объекта произвольной конфигурации на основе метода частично инвариантного доопределения. *Ж. прикл. спектр.*, 1981, **34**, 2, 335–342.
3. Роговцов Н.Н. О некоторых приложениях общего принципа инвариантности применительно к теории переноса излучения. *Ж. прикл. спектр.*, 1981, **35**, 6, 1044–1050.
4. Роговцов Н.Н. Теория переноса и общий принцип инвариантности. *ДАН БССР*, 1981, **25**, 5, 420–423.
5. Роговцов Н.Н. О некоторых асимптотиках полей излучения в плоских однородных средах, содержащих точечные источники. *Астрофизика*, 1988, **29**, 3, 602–612.
6. Роговцов Н.Н. О поле излучения в глубине полубесконечной мутной среды, содержащей точечный направленный источник. *Изв. АН СССР. ФАО*, 1990, **26**, 10, 1082–1088.
7. Роговцов Н.Н. *Свойства и принципы инвариантности. Приложение к решению проблем математической физики*. Ч. 1, 1999, Минск: МО РБ, БГПА.
8. Rogovtsov N.N. Relationship between solutions of families of two-point boundary value problems and Cauchy problems. *Differential Equations*, 2008, **44**, 1–20.

Математические аспекты теории переноса оптического излучения в неоднородных средах

Прохоров И.В. (prh@iam.dvo.ru)

Институт прикладной математики ДВО РАН, Радио 7, 690041 Владивосток, Россия

Широкий круг физических процессов и явлений в природе описывается интегро-дифференциальными уравнениями переноса. Они возникают при моделировании переноса излучения достаточно широкого спектрального диапазона и диффузии нейтронов в веществе, в теории распространения звука и газокINETических моделях. Большой вклад в теорию краевых задач для уравнений переноса и в разработку численных методов их решения внесли работы В.С. Владимирова, Е.С. Кузнецова, Г.И. Марчука, Г.А. Михайлова, С.Б. Шихова, В.И. Лебедева, Г.В. Розенберга, М.В. Масленникова, Т.А. Гермогеновой, В.И. Агошкова, Т.А. Сушкевич, В.В. Смелова, С. Чандрасекхара, К. Кейза, А. Исимару и др.

При моделировании процесса переноса излучения приходится сталкиваться с тем, что среда представляет собой объединение различных компонент с резко меняющимися характеристиками взаимодействия излучения со средой. В терминах уравнения переноса это означает разрывность его коэффициентов. В этом случае на поверхностях разрыва коэффициентов ставятся так называемые условия сопряжения, которые накладывают дополнительные условия согласования для предельных значений решения уравнения на границе раздела. В оптическом диапазоне условия сопряжения обычно выражают связь между падающим, отраженным и преломленным потоками излучения на границах макро-неоднородностей. Для более жесткого излучения эффекты отражения и преломления несущественны и поэтому вышеупомянутые обобщенные условия сопряжения трансформируются в традиционные (упрощенные) условия непрерывной склейки решения. Но даже в этом одном из самых простых случаев локальная структура решения оказывается весьма сложной, и на этапе получения общих качественных утверждений многие трудности обходятся рассмотрением достаточно широких классов решений. Несмотря на более чем полувековую историю модели, основанной на уравнении переноса с учетом эффектов отражения и преломления на границе раздела, и, несмотря на повышенный практический интерес к модели в последнее время, теоретические результаты в этой области развиты в незначительной степени.

В докладе представлены авторские результаты последних лет, посвященные исследованию вопросов разрешимости краевых задач с френелевскими и диффузными условиями сопряжения на границе раздела сред [1–4]. Приводятся различные постановки обратных и экстремальных задач [3–6]. Для слоистых сред предложены методы нахождения показателей преломления и оптических толщин слоев при заданном входящем и выходящем

из среды излучения. В общем трехмерном случае доказаны утверждения, касающиеся единственности решения задачи определения границ неоднородностей по данным томографического просвечивания. Обсуждаются результаты численных экспериментов.

Работа поддержана грантом РФФИ (проект № 09-01-98521), грантом конкурса Ведущих научных школ РФ (проект НШ-2810.2008.1) и грантами конкурса интеграционных проектов ДВО, СО и УрО РАН (№№ 09-И-СУ-001, 09-И-СО-004).

1. Прохоров И.В. Краевая задача теории переноса излучения в неоднородной среде с условиями отражения на границе. *Дифференциальные уравнения*, 2000, **36**, 6, 848–851.
2. Прохоров И.В. О разрешимости краевой задачи для уравнения переноса излучения с обобщенными условиями сопряжения на границе раздела сред. *Изв. РАН. Серия математическая*, 2003, **67**, 6, 169–192.
3. Прохоров И.В. Определение поверхности раздела сред по данным томографического просвечивания. *ЖВМ и МФ*, 2002, **42**, 10, 1542–1555.
4. Prokhorov I.V., Yarovenko I.P., and Krasnikova T.V. An extremum problem for the radiation transfer equation. *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*, 2005, **13**, 4, 365–382.
5. Прохоров И.В., Яровенко И.П. Исследование задач оптической томографии методами теории переноса излучения. *Оптика и спектроскопия*, 2006, **101**, 5, 817–824.
6. Prokhorov I.V., Yarovenko I.P., Nazarov V.G. Optical tomography problems at layered media. *Inverse Problems*, 2008, **24**, 2, 025019.

Информационно-математическое обеспечение и супервычисления для нанодиагностики природной и техногенной среды

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В., Козодеров В.В.,
Гаврилович А.Б., Андрианов А.Н., Ефимкин К.Н.

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия.

При дистанционном зондировании и мониторинге технических объектов и окружающей среды носителем информации об их состоянии является электромагнитное излучение, регистрируемое различными средствами. Представляют актуальность перспективные гиперспектральные системы нанодиагностики природной и техногенной среды на основе данных аэрокосмического дистанционного зондирования атмосферы и поверхности (объектов техносферы на поверхности). Для решения таких проблем требуется информационно-математическое обеспечение, включающее прямые и обратные задачи теории переноса излучения [1, 2]. Даже на современных высокопроизводительных вычислительных системах стоят проблемы скорости вычислений и оптимальной организации распараллеливания расчета при больших размерностях разностной сетки, а также передачи больших массивов результатов расчета по сетям от суперкомпьютера к рабочей станции оператора для последующей обработки.

Новый подход к моделированию радиационных полей в оптически толстых и существенно неоднородных средах на базе модели переноса излучения в гетерогенных системах и метода векторных функций влияния обладает удивительными свойствами распараллеливания вычислений и построения новых алгоритмов декомпозиции: методом векторных функций влияния исходную задачу с областью определения решения большой размерности и большим размером разностной сетки фазового пространства задачи можно факторизовать на ряд малоразмерных подзадач, определенных на подобластях и разностных сетках меньшей размерности. При этом подобласти могут отличаться радиационными режимами и в них можно использовать разные приближения и методы решения краевых задач теории переноса излучения.

Используем следующие приемы распараллеливания вычислений:

- распределенные вычисления по физическим моделям: многоспектральные (по длине волны); оптико-геофизическая погода (по коэффициентам общей краевой задачи); по источникам;
- распределенные вычисления на основе методического распараллеливания-декомпозиции краевых задач: по подобластям; по параметрам вектора функций влияния; по параметрам

вектора пространственно-частотных характеристик; по компонентам векторных функционалов;

- алгоритмическое распараллеливание для многомерных моделей: однократное рассеяние по характеристикам; многократное рассеяние по интегралам столкновений и по подобластям с разными сеточно-характеристическими схемами.

Создаваемая система содержит три группы программных комплексов, соответствующих трем этапам решения задачи.

Первая группа программ – формирование оптико-метеорологических моделей среды: программы работы с архивом и базами данных моделей атмосферы, облаков, дымов, земной поверхности, океана; банк спектров поглощения атмосферных газов; банк характеристик аэрозольного рассеяния и поглощения; формирование модели атмосферы; пакеты данных к программам расчета радиационных характеристик и т.д.

Вторая группа программ – численное решение уравнения переноса излучения быстрыми приближенными и репрезентативными высокоточными методами.

Третья группа программ – обработка и диагностика результатов расчетов: расчет функционалов; аналитическая аппроксимация и параметризация табличных функций; компьютерная графика и визуализация; решение обратных задач по восстановлению параметров среды и т.д.

Реализация функции управления и сетевого взаимодействия комплексом программ производится с помощью оболочек (wrapper's), написанных на языке описания сценариев Perl. Комплекс математических моделей, методов и программного обеспечения представляет собой открытую развиваемую систему математического моделирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 09-01-00071, 08-07-13515-офи_ц).

1. Сушкевич Т.А., С.А. Стрелков, А.А. Иолтуховский. *Метод характеристик в задачах атмосферной оптики.* – М.: Наука, 1990, 296 с.
2. Сушкевич Т.А. *Математические модели переноса излучения.* – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2005, 661 с.

Упрощенная квази-одномерная модель для расчета коэффициента яркости в облачно-аэрозольных слоях с локальными горизонтальными неоднородностями

Николаева О.В. (nika@kiam.ru), Басс Л.П.

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия.

Кохановский А.А.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Белоруссия

Институт физики окружающей среды, Бременский университет, Германия.

Кузнецов В.С.

Государственный научный центр "Курчатовский институт", Москва, Россия

При моделировании переноса излучения в атмосфере обычно пользуются одномерной моделью плоского слоя, в которой интенсивность рассеянного солнечного света зависит только от высоты и направления переноса. Однако такая модель применима только в горизонтально однородной или почти однородной среде. В областях, где горизонтальные неоднородности существенны (например, вблизи вертикальной границы облака) приходится использовать многомерные математические модели, которые являются очень трудоемкими. Поэтому является актуальной разработка различных упрощенных моделей переноса излучения в многомерных областях [1].

В докладе представлена такая модель, опирающаяся на решение трех одномерных независимых уравнений переноса (вместо одного двумерного), два из которых определяют распределение интенсивности света по высоте, одно – по горизонтали. Приближенное двумерное решение определяется как комбинация трех одномерных решений. Такая модель

позволяет, не прибегая к затратным многомерным расчетам, оценить расстояния, на которые распространяется влияние неоднородности на интенсивность излучения [2], а также получить приближенные значения интенсивности. В докладе приводятся результаты расчетов по упрощенной модели коэффициента яркости отраженного света вблизи вертикальных границ облака и выполнено сравнение полученных функций с результатом моделирования по точной двумерной модели.

Работа выполнена при поддержке Программы Фундаментальных Исследований № 2 Президиума РАН.

1. Nikolaeva O.V. Simplified 1D model to 2D transport equation. Proc. of 20-th International Conference on Transport Theory, July 22–28, 2007, Obninsk, Russia, 35–38.
2. Басс Л.П., Гермогенова Т.А., Кохановский А.А. Кузнецов В.С. Численное моделирование краевых эффектов в оптике аэрозоля и облаков. *Оптика атмосферы и океана*, 2009, **22**, 2, 201–206.

Линеаризованная векторная модель переноса излучения в сферически симметричной атмосфере MCC++ и некоторые ее приложения

Постыляков О.В. (oleg-postylyakov@yandex.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Модель переноса излучения в атмосфере MCC++ была разработана для интерпретации дистанционных измерений состава атмосферы по наблюдениям рассеянного солнечного излучения в УФ и видимой частях спектра. Это потребовало использования методов, которые обеспечивают вычисления не только поля излучения, но и одновременного вычисления его производных по оптическим характеристикам атмосферы и подстилающей поверхности. Быстрый расчет производных, называемых в иной терминологии весовыми функциями, необходим для решения обратных задач, возникающих при интерпретации данных дистанционного зондирования. Для использования в геометриях наблюдения, которые делают возможным определение вертикальных распределений примесей в атмосфере, таких как космические наблюдения рассеянного в лимбе солнечного излучения или наземные сумеречные измерения, модель реализована для сферической атмосферы. Моделирование полного вектор-параметра Стокса позволяет избежать ошибок расчета радиации и весовых функций, характерных для упрощенного описания излучения в виде скалярной величины, равной интенсивности излучения. Для расчета многократно рассеянного излучения модель использует метод Монте-Карло. Модель написана на языке C++.

В докладе кратко излагаются основные подходы, использованные при моделировании, и рассматриваются некоторые последние приложения модели ([3–6] и другие).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №08-05-01046.

1. Постыляков О.В. Модель переноса радиации в сферической атмосфере с расчетом послойных воздушных масс и некоторые ее приложения. *Изв. РАН, ФАО*, 2004, т. 40, №3, 319–334.
2. Postylyakov, O.V. Linearized vector radiative transfer model MCC++ for spherical atmosphere. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2004, **88**, 1–3, 297–317, doi:10.1016/j.asr.2005.04.019.
3. Wagner, J. P. et al. Comparison of box-air-mass-factors and radiances for Multiple-Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy (MAX-DOAS) geometries calculated from different UV/visible radiative transfer models. *Atm. Chem. Phys.*, 2007, **7**, 1809–1833.
4. Patat, F., O.S. Ugolnikov, O.V. Postylyakov. UBVRI twilight sky brightness at ESO-Paranal. *Astronomy & Astrophysics*, 2006, **455**, 385–393, doi: 10.1051/0004-6361:20064992.
5. Postylyakov, O.V., I.B. Belikov, N.F. Elansky, A.S. Elohov. Observations of the ozone and nitrogen dioxide profiles in the TROICA-4 experiment. *Adv. Space Res.*, 2006, **37**, 12, 2231–2237, doi:10.1016/j.asr.2005.07.023.
6. Postylyakov, O.V., I.V. Mitin. Modeling of effect of polarization on UV sky radiance during twilight. *Adv. Space Res.*, 2005, **35**, 3, 465–469.

Статистическое моделирование задач радиационного теплопереноса в рассеивающих и поглощающих средах

Каргин Б.А. (bkargin@osmf.sccc.ru), Бреднихин С.А. (sbrednikhin@gmail.com)
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, пр. Академика
Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия

В работе предложен и исследован весовой алгоритм статистического моделирования процесса радиационного теплопереноса в рассеивающих и поглощающих средах. Данный алгоритм позволяет проводить статистическое моделирование процесса радиационного теплопереноса в рассеивающих и поглощающих средах со слабой зависимостью оптических параметров от температуры путем нахождения решения уравнения переноса в системе со многими источниками, с последующим решением системы уравнений радиационного баланса [1]. Алгоритм также позволяет рассчитывать фотометрические и поляриметрические характеристики излучения.

В рамках работы проведена реализация алгоритма, предусматривающая возможность проведения параллельных расчетов на ЭВМ с раздельной памятью. В качестве приложения проведен расчет пространственного распределения температуры в пылевом облаке, окружающем звезду, а также получены фотометрические и поляриметрические характеристики исходящего излучения в широком спектре длин волн. Полученные поляриметрические данные показали хорошее согласие с данными наблюдений [2, 3].

Проведены параллельные расчеты с использованием кластера НКС-160 Сибирского Суперкомпьютерного Центра. Распараллеливание программы проведено с помощью технологии MPI. Исследован прирост производительности при различном числе процессоров.

Работа проведена при финансовой поддержке грантов РФФИ №08-01-00846-а, №09-01-0035-а

1. Niccolini, G., Woitke, P., Lopez, B. High precision Monte Carlo radiative transfer in dusty media. *Astronomy and Astrophysics*, 2003, **399**, 703–716.
2. Krivova N.A., Krivov A.V., Mann I. The disc of Pictoris in the light of polarimetric data. *The Astrophysical Journal*, 2000, **539**, 424–434.
3. Tamura, M., Fukagawa, M., Kimura, H., Yamamoto, T., Suto, H., Abe, L. First two-micron imaging polarimetry of Pictoris. *The Astrophysical Journal*, 2006, **641**, 1172–1177.

Метод Монте-Карло в задаче переноса оптического излучения через преломляющую случайно-неоднородную границу раздела двух сред

Каргин Б.А. (bkargin@osmf.sccc.ru), Каргин А.Б.
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, пр. академика
Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия

В докладе рассматриваются вопросы статистического моделирования процессов переноса электромагнитного излучения в двухслойной рассеивающей и поглощающей среде. Предполагается, что на границе раздела двух сред излучение испытывает преломление, а пространственные отклонения поверхности раздела относительно некоторой средней поверхности описываются двумерной случайной функцией. Представлены весовые алгоритмы метода Монте-Карло для построения численных моделей поля электромагнитного излучения в указанных средах. Алгоритмы разработаны главным образом для решения прямых задач дистанционного аэрокосмического зондирования системы океан-атмосфера. Алгоритмы позволяют вычислять поля отраженного и преломленного поверхностью раздела излучений с учетом эффектов затенения и переотражения излучения элементами поверхности. В сравнении с алгоритмами, основанными на принципе “двойной рандомизации”, данный метод не использует дорогостоящую процедуру численного построения реализаций двумерной случайной поверхности.

Приведена новая локальная оценка поля интенсивности излучения в системе океан-атмосфера, представляющая интерес для решения методом Монте-Карло задач лазерного зондирования океана со спутника.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (проекты 08-01-00846-а и 09-01-00035-а), ОМН РАН (проект 1.3.2), СО РАН (проекты 2.4 и 2.2-2).

Моделирование угловой структуры отраженной солнечной радиации с учетом шероховатостей снежного покрова

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru)

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зюева, 634021 Томск, Россия

Кохановский А.А. (alexk@iup.physik.uni-bremen.de)

Institute of Environmental Physics, University of Bremen, Germany

Улучшение качества восстановления характеристик снежного покрова по данным дистанционного зондирования предполагает использование более точных сведений о спектрально-угловых характеристиках отраженной солнечной радиации (BDRF). Накопленные к настоящему времени экспериментальные данные и результаты численного моделирования показывают, что, помимо формы и размеров снежных гранул, загрязненности снежного покрова, направления падения солнечного излучения и т.д., BDRF снега зависит также от шероховатостей поверхности [1, 2].

Доступная нам информация о шероховатостях снежного покрова (СП), содержащего большое число макронеоднородностей, недостаточна для однозначного определения отраженной радиации в произвольной точке фазового пространства координат и направлений. Однако можно сделать важные для практики выводы об усредненных – по ансамблю реализаций неоднородностей СП – характеристиках отраженной радиации, т.е. установить и выполнить анализ взаимосвязи между статистическими характеристиками шероховатого снежного покрова и радиации. Одним из перспективных способов реализации такого статистического подхода является численное или аналитическое усреднение стохастического уравнения переноса излучения по ансамблю участков СП, содержащих шероховатости.

Для учета влияния шероховатости снега на данном этапе исследования используется модель на основе пуассоновских потоков точек на прямых, развитая ранее для расчета средних радиационных характеристик в облачных полях со случайной геометрией [3]. Входными параметрами модели являются оптические характеристики снега (коэффициент ослабления, альbedo однократного рассеяния, индикатриса рассеяния излучения) и данные, характеризующие геометрические размеры шероховатостей. В частности, при моделировании заструг (протяженных гребней, сформированных под влиянием ветра в полярных регионах) достаточно задать известные из экспериментов данные об их длине, ширине и высоте, а также плотность заструг на единицу площади. Предполагается, что шероховатости выступают над горизонтально однородной плоскопараллельной снежной поверхностью, BRDF которой моделируется на основе 1D уравнения переноса излучения.

Предлагаемая модель существенно расширяет возможности исследования влияния 3D эффектов на BDRF снежной поверхности, поскольку

- входные параметры модели могут быть получены непосредственно из данных измерений;
- вычисление отраженной интенсивности выполняется на основе эффективных алгоритмов метода Монте-Карло (метод замкнутых уравнений [3]);
- моделирование отраженной радиации выполняется с учетом всех эффектов, связанных со случайной геометрией шероховатостей (затенение, возможность излучения выходить через боковые негоризонтальные поверхности и многократно рассеиваться окружающими элементами).

В докладе рассматривается изменчивость BDRF снега при вариациях геометрических параметров шероховатостей в различных условиях наблюдения на примере заструг. Представлены оценки влияния 3D эффектов на угловые характеристики отраженной радиации в зависимости от зенитного угла Солнца и ориентации заструг относительно падения солнечных лучей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00963 и проекта ESA Snow_Radiance.

1. Leroux, C. and M. Fily. Modelling the effect of sastrugi on snow reflectance. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**, E11, 25779–25788.
2. Warren, S.G., R.E. Brandt, and P. O’Rawe Hinton. Effect of surface roughness on bidirectional reflectance of Antarctic snow. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**, E11, 25789–25807.
3. Зуев В.Е., Титов Г.А. *Оптика атмосферы и климат*. Томск.: Изд-во Спектр ИОА СО РАН, 1996, 271 с.

Ряды экспонент в задачах переноса радиации в атмосфере Земли

Фирсов К.М. (fkkm@iao.ru)

Волгоградский государственный университет, Университетский пр. 100, 400062 Волгоград, Россия

Чеснокова Т.Ю. (ches@iao.ru), Воронина Ю.В.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зуева, 634021 Томск, Россия

В настоящее время при решении уравнения переноса широкое использование получило разложение функции пропускания, обусловленной молекулярным поглощением, в ряд экспонент. Такая аппроксимация, получившая название метод рядов экспонент (метод k-распределения – в западной литературе), позволяет разрешить целый ряд проблем, возникающих при численных расчетах: она описывает функцию пропускания с высокой точностью (отличие от прямого счета в среднем составляет величину, не превышающую 1 %), является малопараметрическим (число членов ряда не превышает 5–7), имеет экспоненциальную функциональную зависимость, что обеспечивает удобство ее применения в различных вычислительных схемах.

В докладе проводится сравнительный анализ современных моделей и описана оригинальная модель, которая позволяет получить параметры модели непосредственно на основе прямых line-by-line расчетов спектров поглощения. Рассмотрены математические аспекты учета неоднородности атмосферы и перекрывания полос поглощения атмосферных газов. В докладе детально описывается технология получения рядов экспонент и примеры их применения к моделированию переноса излучения в коротковолновом и длинноволновом диапазонах спектра, как для безоблачной, так и для облачной атмосферы. Проводится анализ погрешностей, возникающих вследствие неоднородности атмосферы и перекрывания полос поглощения и способы минимизации данных погрешностей. На конкретных примерах показано, что результаты вычислений потоков излучения хорошо согласуются с прямыми расчетами, причем зачастую расхождения не превышают погрешности line-by-line моделей, обусловленных погрешностями спектральных линий. В частности, результаты моделирования показали, что для коротковолновых интегральных нисходящих потоков в безоблачной атмосфере погрешность параметризации составляла величину менее 0.3 % в диапазоне 3500–20000 см⁻¹.

Для длинноволновой радиации был проведен детальный анализ основных источников погрешностей, что позволило их объединить в три группы. Первая – это погрешность параметризации, связанная с представлением функций пропускания в виде ряда экспонент. Ко второй группе относятся погрешности квадратурных формул, которые появляются при численном интегрировании по высоте. Третья группа погрешностей связана с неточностью исходной спектроскопической информации. Для того чтобы их оценить, была проведена серия тестовых расчетов. В результате этого моделирования было установлено, что в целом наблюдается хорошее согласие рядов экспонент с line-by-line моделью, расхождение в интегральных потоках не превышало 0.3 %. Погрешности квадратурных формул при

использовании стандартных моделей атмосферы также приводят к аналогичной оценке ($\sim 0.3\%$). Для исследования чувствительности длинноволновых потоков излучения к неопределенностям в спектроскопических параметрах линий использовался статистический подход.

Проведенный нами анализ данных привел к выводу, что качество современных баз данных обеспечивает высокую точность расчета интегральных потоков (погрешность не превышает 0.3%), однако погрешности в континуальном поглощении паров воды могут приводить к заметным погрешностям в интегральных нисходящих потоках.

Авторы благодарны РФФИ за финансовую поддержку работы (грант №09-05-97010-а)

Быстрый способ расчета параметров метода k-distribution для произвольных спектральных каналов спутниковых оптических инструментов

Кацев И.Л. (katsev@light.basnet.by), Прихач А.С., Зеге Э.П.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Беларусь

При расчете переноса излучения в атмосфере в линиях поглощения газов необходимо вычислять среднее пропускание излучения в заданном спектральном интервале. Одна из основных трудностей состоит в том, что сечение поглощения газов существенно зависит от длины волны, и поэтому простое и часто используемое “серое” приближение оказывается неприменимым. Использование монохроматического приближения для чрезвычайно узких спектральных интервалов с последующим интегрированием по длинам волн (line-by-line метод) в заданном спектральном интервале оказывается чрезвычайно трудоемким, в особенности, когда необходимо учитывать многократное рассеяние света в атмосфере. Чтобы преодолеть эту трудность, в настоящее время используются два основных подхода: 1) метод функций пропускания и 2) k-distribution метод. В обоих методах среднее пропускание рассчитывается как некоторое средневзвешенное нескольких псевдо монохроматических коэффициентов пропускания. На наш взгляд при внешней схожести этих методов k-distribution обладает существенными преимуществами, одним из которых является представляемая в данном докладе возможность использования единой базы параметров метода для расчета функций пропускания атмосферы при различной спектральной ширине канала.

В настоящее время существует большое число спутниковых оптических инструментов, для которых спектральные ширины каналов существенно различаются. Расчет параметров метода k-distribution применительно к каждому оптическому инструменту представляет весьма сложную и трудоемкую задачу, требующую к тому же огромный объем детальной информации о спектрах поглощения газов с учетом их зависимости от давления и температуры.

Предлагаемый эффективный способ расчета параметров метода k-distribution применительно к оптическим инструментам с различной спектральной шириной канала основан на использовании вероятностного смысла кумулятивной функции распределения сечения газового поглощения в заданном спектральном интервале. Он позволяет производить расчет параметров метода практически для любого заданного спектрального интервала за доли секунды с использованием баз данных таких параметров, насчитанных с более высоким спектральным разрешением. В качестве такой базы может служить, например, база данных, разработанная в Бременском университете (Германия) и используемая для обработки результатов измерений SCIAMACHY. Она получена с разрешением порядка 0.05 нм и является в некотором роде уникальной.

В докладе на примере полосы кислорода в области 760 нм будет продемонстрирована точность предложенного способа и обсуждены некоторые специфические особенности использования базы данных SCIAMACHY.

Перенос поляризованного излучения в гетерогенной среде и супервычисления

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Максакова С.В., Волкович А.Н.,
Шари В.П., Андрианов А.Н., Ефимкин К.Н.

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия.

В интересах международной кооперации по аэрокосмическому глобальному мониторингу Земли, а также международного глобального проекта по изучению эволюции Земли, климата и опасных явлений требуется разработка нового математического обеспечения для решения прямых и обратных задач теории переноса поляризованного излучения и естественного солнечного света с учетом поляризации и деполяризации в природных средах, реализуемого на высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных системах [1, 2].

Предлагается оригинальный универсальный математический аппарат для моделирования трехмерного переноса оптического излучения, которое описывается вектором параметров Стокса, в неоднородной гетерогенной системе, содержащей подобласти с разными радиационными режимами, с учетом поляризации и деполяризации. Матричный подход основан на построении обобщенных решений общей векторной краевой задачи для кинетического уравнения в форме вектора матричных функционалов, ядрами которых являются тензоры функций влияния или пространственно-частотных характеристик. При этом компоненты тензоров функций влияния и пространственно-частотных характеристик с учетом аэрозольных и молекулярных характеристик рассеяния и поглощения среды можно рассчитывать разными методами в разных приближениях теории переноса излучения. Пространственно-частотные характеристики являются фурье-образами функций влияния по горизонтальным координатам. Функции влияния и пространственно-частотные характеристики – это универсальные функции, инвариантные относительно характеристик состояния поляризации, горизонтальных вариаций и угловых зависимостей граничных условий и источников излучения. Имея набор таких инвариантных функций для подобластей, с помощью построенных матричных рядов Неймана можно рассчитать "сценарий" распределения яркости на границах подобластей с различными конкретными пространственными и угловыми структурами источников и ядер операторов отражения и пропускания границ с учетом многократного рассеяния и поляризации, а также значения вектора Стокса в любой внутренней точке системы или за её пределами. Выбор способа расчета функционалов – через функции влияния или в фурье-образах через пространственно-частотные характеристики – зависит от свойств функций, описывающих характеристики закона отражения поверхности и источников, а также от конкретных приложений.

Такая постановка задачи приобретает актуальность в связи с новыми проблемами дистанционного зондирования атмосферы, облаков, поверхности суши и океана и идентификации объектов. Новые возможности предлагаемой модели связаны с верификацией инженерных прикладных методик, массово используемых для экспресс-анализа космических данных и в радиационных блоках для моделей климата, циркуляции, прогноза, трансграничного переноса загрязнений воздушного бассейна, последствий техногенных аварий, состояния растительного покрова и т.д.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 08-01-00024, 09-01-00071).

Сушкевич Т.А., С.А. Стрелков, А.А. Иолтуховский. *Метод характеристик в задачах атмосферной оптики.* – М.: Наука, 1990, 296 с.

Сушкевич Т.А. *Математические модели переноса излучения.* – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2005, 661 с.

Математическая модель поляризации отраженного солнечного излучения системой атмосфера-океан

Коркин С.В. (sergei_korkin@mail.ru), Будаков В.П.

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Настоящая работа посвящена решению проблемы обмена поляризованным излучением между атмосферой и океаном. Крупные частицы в морской воде обуславливают сильную анизотропию рассеяния и, как следствие, сильную анизотропию тела яркости, что затрудняет его расчет. То же самое относится и к крупной аэрозольной фракции атмосферы. Искусственное усечение анизотропии рассеяния сглаживает решение, и математическая модель теряет при этом в точности из-за пренебрежения рассеянием на крупных частицах. Эффективное решение краевой задачи векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ), не накладывающее ограничения на анизотропию рассеяния, может быть получено путем обобщения на случай поляризации подхода, хорошо зарекомендовавшего себя в скалярном приближении: поле излучения в среде представляется в виде суперпозиции анизотропной составляющей и гладкой добавки к ней. Анизотропная часть ищется из приближенного решения ВУПИ в векторной малоугловой модификации метода сферических гармоник (ВМСГ), содержит в себе вызванную лучевым приближением сингулярность в граничных условиях краевой задачи ВУПИ, точно описывает рассеянное вперед излучение, а также анизотропную часть в пренебрежении дисперсией путей рассеяния фотонов. Решение ВУПИ в ВМСГ строится на основании анализа пространственного спектра искомого решения и использует гладкость спектра, вызванную анизотропией тела яркости. Линейность ВУПИ позволяет перейти от полной краевой задачи к краевой задаче для гладкой (регулярной – не содержащей сингулярности) части. Вид краевой задачи при этом не изменяется, изменяется только функция источников и краевые условия. Это позволяет использовать для её решения любой из разработанных на сегодняшний день методов решения ВУПИ.

В настоящей работе для поиска регулярной части был выбран метод дискретных ординат (МДО), модифицированный двойными гауссовыми квадратурами. МДО позволяет сравнительно легко включать сложную геометрию граничных условий в форме Mark C. Интеграл рассеяния раскрывается с использованием циркулярного базиса для диагонализации матриц ротатора с последующим возвратом результата в энергетический базис. Устойчивость решения повышается путем применения масштабного преобразования.

Эффективным подходом к решению проблемы вертикальной стратификации сред является переход к «полупотокам», в основе которого лежит симметрия слоя относительно вертикали. На основе метода двойных гауссовых квадратур интеграл рассеяния может быть заменен двумя интегралами для верхней и нижней полусфер, а системе уравнений может быть придан удобный матричный вид, в котором результат переноса излучения определяется функцией источников и матрицей переноса граничных условий. Этот подход позволил нам сформулировать решение для задачи Милна-Амбарцумяна с учетом поляризации и для произвольной анизотропии рассеяния в матричном виде. Переход к вертикально стратифицированному слою осуществляется путем матрично-операторного метода (МОМ). При этом два смежных слоя можно заменить одним с некоторыми эффективными параметрами (общей толщиной, равной сумме входящих в него подслоев и т.п.). Перенос излучения через систему будет описываться выражением, вид которого совпадает с видом выражения для однородного слоя. Элементы эффективной матрицы переноса для объединенного слоя определяются при помощи МОМ. Совместное решение систем для двух смежных слоёв позволяет смоделировать излучение – как отраженное всей системой, так и на произвольной глубине. МОМ позволяет учесть эффект преломления излучения при его переходе между слоями с разной оптической плотностью. Преломление ведет к нарушению принципа попарного объединения соседних слоёв из-за изменения ординат. Однако закон преломления при смене пределов интегрирования вновь приводит пределы интегрирования по косинусу зенитного угла к сегменту $[-1, 1]$, что позволяет применять МДО.

Эффективный метод расчета световых полей в плоском слое мутной среды с произвольным законом рассеяния

Будак В.П. (BoudakVP@mpei.ru)

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Илюшин Я.А. (ilyushin@phys.msu.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы, 119992 Москва, Россия

Лучевое приближение, лежащее в основе теории переноса, неизбежно порождает особенности в пространственно-угловом распределении яркости: любой разрыв в граничных условиях распространяется вглубь среды. Все численные методы решения уравнения переноса излучения (УПИ) основаны на замене интеграла рассеяния конечной суммой. Наличие особенностей в решении делает невозможным такую замену. Для устранения данной проблемы Чандрасекар предложил вычитать из решения прямое нерассеянное излучение и формулировать краевую задачу для диффузного излучения, что устраняет δ -особенность по углу. Однако все природные образования, будь то атмосфера или океан, имеют взвешенные частицы много больше длины световой волны, что согласно теории Ми приводит к сильно анизотропному рассеянию. В этом случае рассеянный на малые углы свет мало отличим от прямого, и метод Чандрасекара теряет свою эффективность.

В работе [1] предложено представлять решение в виде суммы анизотропной части решения, включающей все особенности точного, и регулярной гладкой части. Из анализа углового спектра распределения яркости можно сформулировать приближенное уравнение, описывающее анизотропную по углу часть решения – малоугловая модификация метода сферических гармоник (МСГ). Вычитание анизотропной части приводит к появлению функции источников в уравнении для регулярной части и модификации граничных условий. Аналитический вид МСГ в виде ряда по полиномам Лежандра не усложняет вида уравнения для регулярной части, потому его решение возможно любым численным методом. Наш анализ показал, что наиболее эффективным является метод дискретных ординат (МДО). Однако МСГ пренебрегает дисперсией длины рассеянных лучей (ДДРЛ), что не позволяет описывать поворот тела яркости от направления падения в приграничной области к вертикальному направлению в глубине среды. Это снижает эффективность указанного алгоритма для достаточно толстых слоев.

В настоящей работе предлагается уточнение МСГ на учет ДДРЛ на основе разложения косинуса угла визирования в ряд Тейлора с сохранением двух первых членов без перехода в УПИ к диффузионному приближению. Полученное решение практически совпадает с точным решением в передней полусфере направлений вплоть до глубинного режима и правильно описывает поворот тела яркости с глубиной. При этом решение сохраняет аналитическую форму МСГ и всех выражений алгоритма определения регулярной части решения. Полученная система МДО для регулярной части имеет аналитическое решение в виде матричной экспоненты. Обусловленность системной матрицы быстро убывает с глубиной, для устранения чего используется масштабное преобразование. Использование плоской симметрии среды с объединением ординат на два потока восходящего и нисходящего на основе двойных гауссовых квадратур существенно упрощает решение. Окончательное решение имеет форму матрицы переноса с вектор-столбцом функции источников, связывающих ординаты отраженного и прошедшего излучений с яркостью излучений, падающих на верхнюю и нижнюю границы слоя. На основе матрично-операторного метода (МОМ) это позволяет обобщить решение на случай произвольной вертикальной стратификации среды. На основе закона преломления в данный алгоритм включается граница раздела атмосферы и океана.

1. Budak V.P., Korkin S.V. On the solution of a vectorial radiative transfer equation in an arbitrary three-dimensional turbid medium with anisotropic scattering. *JQSRT*, 2008, **109**, 2, 220–234.

Аналитическое решение задачи обратного рассеяния поляризованного узкого пучка от многократно-рассеивающей среды

Зере Э.П. (eleonor@light.basnet.by), Чайковская Л.И., Кацев И.Л.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Белоруссия

Оппель У.Г., Хиршбергер М.

Institute of Mathematics, Ludwig-Maximilian University Theresienstr. Munich, Germany

В этом докладе мы представляем аналитическую теорию, описывающую угловые распределения поляризованного света, отраженного многократно рассеивающей средой, освещенной импульсным локализованным источником с произвольной поляризацией излучения (3-D проблема с поляризацией). Рассматривается многократно-рассеивающая среда с сильно вытянутой индикатрисой рассеяния. Такая среда является адекватной моделью облаков, морской воды, биотканей.

Аналитическое решение проблемы поляризационного отклика основано на 1) приближенной векторной теории переноса поляризованного света, развитой авторами ранее, 2) модели формирования обратно рассеянной радиации, в которой учитывается однократное рассеяние в среде в области “назад” и процессы распространения и малоуглового рассеяния до и после однократного рассеяния, и 3) эффективной методике обратного рассеяния, ранее развитой в скалярной теории лидарного зондирования и обобщенной для решения векторной проблемы.

В результате этой работы исключительно сложная проблема расчета мощности поляризованных компонент сигнала, отраженного в произвольном направлении рассеивающей средой, освещенной импульсным локализованным источником, сведена к 8-ми намного более простым уравнениям, полностью аналогичным известным скалярным уравнениям.

Проверка решения выполнена путем его сравнения с данными расчетов, полученных с использованием современных алгоритмов Монте Карло, созданных в Мюнхенском университете (Германия) [1], и с экспериментами Др. Роя и др. [2]. Продемонстрировано количественное совпадение результатов.

Развитая теория, в частности, позволяет интерпретировать так называемые изображения Матриц Мюллера (“Muller matrix imaging” [3]), данных MFOV (Multi Field Of View) и CCD поляризационных лидаров, которые используются в настоящее время для исследования кристаллических облаков. Более того, она позволяет оценивать информационное содержание сигналов многоугловых импульсных поляризационных лидаров и может служить теоретической базой для развития новых методов восстановления оптических и микроструктурных характеристик исследуемой среды по отраженному излучению.

Работы были поддержаны проектом INTAS 05-1000008-8024.

1. Roy N., G. Roy, L.R. Bissonnette and J. -R. Simard. Measurement of the azimuthal dependence of cross-polarized lidar returns and its relation to optical depth. *Appl. Opt.*, 2004, **43**, 2777–2785.
2. Oppel U.G. Diffusion patterns of a pulsed laser beam seen by a monostatic and a bistatic CCD lidar. *Proc. SPIE*, 2005, **5829**, 193–208.
3. Rakovic M.J. and G.W. Kattawar. Theoretical analysis of polarization patterns from incoherent backscattering of light. *Appl. Opt.*, 1998, **37**, 3333–3338.

Моделирование световых полей, рассеянных трехмерным облаком

Клюйков Д.А., Будак В.П. (budakvp@mpei.ru)

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Задача расчета переноса излучения от точечного мононаправленного (ТМ) источника актуальна на сегодняшний день по ряду причин: во-первых, по теореме оптической взаимности [1] все фундаментальные решения связаны между собой и выражаются через решение для ТМ-источника посредством сверток по телесному углу и пространству; а во-вторых, точность решения данной задачи напрямую влияет на корректность результатов, получаемых с помощью лазерного зондирования. Более того, все современные расчеты основываются на решении плоской задачи, что в силу природной трехмерности нашего мира, а также конечности продольного размера исследуемого слоя вносит свою неточность в расчет. В целях повышения общей точности приборов, зондирующих атмосферу и океан, в данной работе предлагается метод расчет световых полей, рассеянных трехмерным объектом мутной среды

Мы предлагаем точный метод решения, лишенный недостатков существующих методов. Общее решение представляется в виде суммы анизотропной части, содержащей в себе все сингулярности точного решения и регулярной части, которая описывает неанизотропное рассеяние и не является острой функцией. Анизотропная часть вычисляется с помощью малоугловой модификации метода сферических гармоник (ММ МСГ) [2]. Преимуществом данного подхода является то, что мы представляем приближенно весь ряд, не обрезая его на том или ином члене. Решение для регулярной части формируется посредством вычитания анизотропной части из полного решения, что позволяет нам записать функцию источников как невязку с ММ МСГ решением. Для расчета регулярной части используется метод конечных элементов (МКЭ). Мы разбиваем исследуемых трехмерных объектов мутной среды на сетку из коаксиальных цилиндров конечного радиуса и высоты (оптической толщи). Разбитие на узлы происходит с конечным шагом вдоль высоты, вдоль радиуса и по углу, относительно оси цилиндра. Расчет невязки МСГ решения в каждом узле нашей сетки дает нам угловые распределения по азимутальному и зенитному углам. От цилиндрической системы координат мы осуществляем переход к системе координат вдоль луча. Рассчитанные значения в узлах сетки интерполируются вдоль лучей направлений визирования по гексагональной схеме [3]. От интегро-дифференциального уравнения переноса излучения (УПИ) делаем переход к интегральному уравнению в форме Пайерса. Полученное уравнение решаем методом итераций с интегрированием вдоль луча направления визирования.

В целях тестирования алгоритма, радиус цилиндра брался много больше его высоты, таким образом превращая задачу в расчет яркости от плоского мононаправленного источника (ПМ) в бесконечном плоском слое, которая уже имеет точное решение. Сравнение продемонстрировало точность и эффективность алгоритма. В данной работе показано применение алгоритма для случая пространственного ограничения цилиндра по радиусу и расчета светового поля в трехмерном цилиндре конечного объема.

1. Кейз К., Цвайфель П. *Линейная теория переноса*. – М.: Мир, 1973, 362 с.
2. Будак В.П., Козельский А.В., Савицкий Е.Н. Улучшение сходимости метода сферических гармоник при сильном анизотропном рассеянии. *Оптика атмосферы и океана*, 2004, 17, 1, 36–41.
3. Митчелл Э., Уэйт Р. *Метод конечных элементов для уравнений с частными производными*. – М.: Мир, 1981.

Влияние формы частиц аэрозоля на поляризацию отраженного земной атмосферой излучения

Королев К.Н., Будак В.П. (budakvp@mpei.ru)

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Необходимость наблюдения и анализа метеорологической ситуации на поверхности Земли, проведения экологического мониторинга обуславливают существование множества систем дистанционного зондирования, работающих по излучению, отраженному от земной атмосферы.

В работе предложен алгоритм решения векторной задачи переноса излучения, так как информация о состоянии поляризации рассеянного излучения позволяет на данный момент получить наиболее точные и полные сведения о состоянии аэрозоля. Задача классификации аэрозоля включает в себя определение формы частиц его образующих. Вид и форма матрицы рассеяния, характеризующей рассеяние излучения ансамблем частиц, зависит от размеров, взаимной ориентации, расположения и формы частиц. Реальным средам характерна симметрия расположения и ориентации частиц, что, вместе с предположением об эллиптической форме частиц, определяет блочно-диагональный вид матрицы рассеяния. Эллиптическая форма позволяет моделировать достаточно широкий спектр форм, от плоских дисков до вытянутых цилиндров и стержней, что является достаточно хорошим приближением к реальным формам частиц. Изменение параметров эллипсоидов ведет к изменению их поляризационных свойств. При варьировании отношения диагоналей эллипсоида при определенном значении показателя преломления значения поляризуемости, а, следовательно, и эффективности рассеяния изменяются. Чем более форма эллипсоида вытянута, тем выше оказывается коэффициент, характеризующий поляризуемость. Причем чем выше значение показателя преломления частиц, тем сильнее выражена разница коэффициентов поляризуемости для эллипсоидов разной формы. Таким образом, определяя степень поляризуемость среды можно различать между собой возможные преобладающие формы частиц. Существующие на сегодняшний день интерполяционные модели содержат таблицы множителей, характеризующих всевозможные соотношения осей эллипсоида, которые удобно использовать с высокой степенью точности для выражения через них поляризуемости. Определение матрицы рассеяния происходит на основе данных прямой задачи, методом наименьших квадратов.

Составление базы данных для решения обратной задачи методом наименьших квадратов производится многократным решением прямой задачи с различными комбинациями параметров атмосферы и аэрозоля, соответствующих атмосферным образованиям, которые будут детектироваться. Расчет матриц рассеяния для моделей облаков, дымок и других образований производится в рамках рассеяния Ми. Форма частиц определяется по полученной матрице рассеяния. Краевая задача для векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ) формулируется в предположении модели плоского слоя для земной атмосферы. Решение проводится на основе выделения анизотропной части решения по углу, включая все особенности, на базе векторной малоугловой модификации метода сферических гармоник (ВМСГ). Сущность ВМСГ заключается в допущении непрерывной зависимости коэффициентов разложения угловой зависимости вектор-параметра Стокса по обобщенным сферическим функциям, разложении ее в ряд Тейлора с сохранением двух первых членов, что приводит бесконечную систему обыкновенных дифференциальных уравнений метода сферических гармоник к одному уравнению в частных производных, допускающему аналитическое решение в виде матричной экспоненты. Последующий расчет гладкой немалоугловой добавки дополняет решение до полного, т.к. необходим точный расчет поля яркости в задней полусфере. Расчет гладкой добавки производится методом дискретных ординат в матричной форме с граничными условиями в форме Марка, рассчитанная анизотропная часть тела яркости входит в выражения для гладкой добавки в виде функции источников. Существенным достоинством данного метода является учет всех

особенностей решения, связанных с сильной анизотропией тела яркости. Использование масштабного преобразования позволяет избежать плохой обусловленности используемых матриц и, как следствие, повысить устойчивость полученного решения.

Расчеты переноса радиации с использованием информационно-вычислительной системы «Атмосферная радиация»

Фирсов К.М. (fkkm@iao.ru)

Волгоградский государственный университет, Университетский пр. 100, 400062 Волгоград, Россия

Чеснокова Т.Ю., Козодоева Е.В.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зюева, 634021 Томск, Россия

В докладе дана общая характеристика информационно-вычислительной системы (ИВС) «Атмосферная радиация», доступной по сети Интернет. ИВС «Атмосферная радиация» входит как составная часть в научный портал атмосферных наук ATMOS, который включает еще ряд информационно-вычислительных систем. Доступ к данной ИВС свободный через систему Интернет при условии регистрации. При создании ИВС мы стремились не только предоставить доступ к информации о метеорологических и оптических характеристиках атмосферы, но и обеспечить возможность проводить расчеты переноса радиации в атмосфере Земли непосредственно на нашем сайте.

В докладе описана модель учета молекулярного поглощения в виде ряда экспонент, которая позволила решить проблему унификации данных и моделей расчета радиации. Входные данные в ИВС структурированы стандартным образом: спектроскопические базы данных; метеорологические модели; аэрозольные оптические модели; оптические модели облаков. Кроме того, имеется справочная информация о характеристиках облачности и аэрозоля для Северного полушария Земли. В настоящее время для каждого типа вышеперечисленных данных на портале ATMOS созданы либо информационные системы, либо отдельные интерфейсы. Так, например, в 2008 на основе спутниковых данных созданы интерфейсы для базы данных по оптическим характеристикам аэрозоля и облаков для северного полушария Земли. В этом разделе сайта пользователю предоставляется возможность просмотра данных в табличном и графическом представлении. В интерфейсе для входных параметров задаются интервалы по широте и долготе, и месяц года. Пользователь нашей системы может провести расчеты спектрального пропускания с умеренным разрешением, интенсивности и потоков радиации для заданных им условий в атмосфере Земли. Все входные параметры и результаты расчета сохраняются в "портфеле пользователя", что позволяет сохранять связь между входными параметрами модели и ее результатами. После окончания расчета система перенаправляет пользователя на страницу, где отображаются результаты данной задачи.

В докладе описаны интерфейсы работы с данными и моделями, а также приведены примеры расчетов переноса радиации. Поскольку разработчики ИВС находятся в разных городах, то для удобства общения создан сервис с функциями передачи и запроса новостей, размещенный на всех узлах распределенной информационной системы «Атмосферная радиация» и «Молекулярная спектроскопия». Раздел "Новости сайта" позволяет администраторам узлов информировать пользователей системы о происходящих изменениях ресурса, добавлении новых разделов и их назначении, а также публиковать любую другую информацию, соответствующую тематике сайта. Обмен новостями между узлами распределенной системы основан на использовании технологии веб-сервисов. Адреса ресурсов в Интернете, подготовленных авторами по данному проекту: Распределенная информационная система «Атмосферная радиация» (<http://atrad.atmos.iao.ru>, <http://atmos.physics.usu.ru>, <http://atmos.volsu.ru>).

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант РФФИ № 07-07-00269).

Новая методика расчета сигналов обратного рассеяния от многократно рассеивающих сред в поляризационных лидарах с многоапертурным приемом

Чайковская Л.И. (Lch@light.basnet.by), Зере Э.П.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Белоруссия

Развитие лидарных технологий для исследования плотных сред (атмосферных облаков, биотканей и др.) привело к появлению методов поляризационного лазерного зондирования, основанных на измерениях угловых распределений характеристик обратно рассеянного поляризованного излучения. В частности в исследованиях облаков, на базе моностатического лидара с приемником переменной апертуры и с поляризатором и анализатором измеряются поляризованные сигналы для наборов полей зрения, т.е. для наборов полярных и/или азимутальных углов [1]. В оптике биологических сред применяется метод, состоящий в наблюдении с помощью CCD камеры поляризационно-кодированных изображений, показывающих угловые распределения в области «назад» элементов 4×4 матрицы Мюллера среды [2]. Сложность описания сигналов, измеряемых поляризационными моностатическими лидарами с многоапертурным приемом, связана с необходимостью учета эффекта многократного рассеяния. Нужно достаточно точно определять угловые распределения в области «назад» поляризационных параметров излучения, сформированных при многократном рассеянии лазерного излучения в зондируемой среде. Решение этой задачи в основном проводилось на базе метода Монте Карло [1, 2].

В данной работе мы представляем новую методику для расчета сигналов в многоапертурном поляризационном зондировании многократно рассеивающих сред, т.е. сигналов, генерируемых угловыми распределениями поляризационных характеристик обратно рассеянного лазерного излучения. Она основана на аналитическом решении, развитом при применении малоуглового приближения, и позволяет получить хорошую точность для сред с вытянутыми вперед фазовыми функциями, таких как облака, туманы, морская вода, биологические и технические среды. Аналитическое решение проблемы получено при использовании: 1) приближенной векторной теории переноса поляризованного света, развитой авторами ранее; 2) модели формирования обратно рассеянной радиации, в которой учитывается однократное рассеяние в среде в области «назад» и многократное малоугловое рассеяние «вперед» до и после однократного рассеяния; 3) скалярной методики расчета мощности сигнала обратного рассеяния. Проводится обобщение скалярной методики на уравнение лидарного зондирования многократно рассеивающих сред, выраженное через 4×4 матрицы преобразования параметров Стокса. Решение определяет мощность поляризованного сигнала от среды при освещении ее δ -импульсом, регистрируемую на аксиально-симметричную площадку во внеосевом направлении. Оно выражается через элементы 4×4 матрицы обратного рассеяния, определяемые интегрированием соответствующих произведений функции однократного рассеяния в области назад, и поляризованной яркости, созданной эффективным источником на оси Z в среде с эффективными параметрами, равными удвоенным коэффициентам ослабления и рассеяния и фазовой функцией, определенной через соответствующие элементы матрицы однократного рассеяния среды. Точность развитой методики оценена путем сравнения результатов расчета с данными численного моделирования на базе кода Монте Карло (современный код разработан в Мюнхенском Университете). Результаты расчетов и сравнений приводятся и обсуждаются.

Работа была поддержана проектом INTAS 05-1000008-8024.

1. Oppel U.G., M. Hirschberger and M. Wengenmayer. Simulation of the azimuthal dependence of cross-polarized lidar returns and its relation to optical depth and a comparison with measurements by N. Roy, G. Roy, L.R. Bissonnette, and J.-R. Simard. In: *XIV International Workshop On Multiple Scattering Lidar Experiments*. Canada. 2006, 27–39.
2. Cameron B.D., M.J. Rakovic, M. Mehrubeoglu, et al. Measurement and calculation of the two-dimensional backscattering Mueller matrix of a turbid medium. *Optics Letters*, 1998, **23**, 485–487.

СЕКЦИЯ 4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ С ОБЛАКАМИ И АЭРОЗОЛЕМ

Председатель: проф. Г.И. Горчаков (ИФА РАН, Москва)

Сопредседатели: д.ф-м.н. А.Г. Петрушин (ИЭМ, Обнинск)

Моделирование процессов взаимодействия газовых примесей и аэрозолей в атмосфере

Алоян А.Е. (aloyan@inm.ras.ru), Арутюнян В.О.

Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 119333 Москва, Россия

Атмосфера представляет собой сложную динамическую систему с различными физико-химическими процессами, интенсивность которых зависит от конкретных характеристик рассматриваемого региона. Если химические реакции в газовой фазе протекают с той или иной интенсивностью во всем объеме атмосферы, то гетерогенные – только на поверхности жидких или твердых частиц в тропосфере и стратосфере. Химический состав частиц существенно изменяется в зависимости от размера, что имеет принципиальное значение для физики аэрозолей и химии атмосферы. Особенностью дисперсной системы в атмосфере является то, что размер частиц меняется от молекулярных комплексов, состоящих из нескольких молекул, до миллиметровых капель, а численная концентрация – от единиц до 10^{12} частиц/м³. Разработана комплексная математическая модель, позволяющая воспроизвести пространственно-временную изменчивость газовых примесей и аэрозольных частиц с учетом их микрофизических и химических свойств [1–5].

Модель описывает динамику атмосферных процессов, перенос и диффузию газовых примесей и аэрозолей в атмосфере с учетом фотохимической трансформации, кинетические процессы нуклеации, конденсации/испарения, коагуляции, а также химические процессы, протекающие в газовой и жидкой фазах с учетом массообмена на интерфейсе газ-частица. Все эти механизмы взаимосвязаны между собой. С использованием разработанной базовой модели проводились следующие численные эксперименты.

(1) *Исследование пространственно-временной изменчивости газовых примесей и аэрозолей в атмосфере, а также формирования мельчайших аэрозольных кластеров в Байкальском регионе под воздействием выбросов от мощных промышленных источников.* Вычислена мольная фракция в аэрозольных частицах с учетом их размеров. В модели учитываются 51 вещество в жидкой фазе и 31 вещество в газовой фазе. Сопоставление результатов расчетов с данными наблюдений показало, что комплексная модель хорошо воспроизводит изменчивость концентрации озона, формирование частиц нуклеационной моды из газов-предшественников (как по счетной концентрации, так и по размеру частиц), ионный состав аэрозольных частиц.

(2) *Исследование эволюции спектров аэрозольных частиц, обусловленной выбросами лесных горючих материалов из зоны горения с помощью совместной модели газовой и аэрозольной динамики и формирования облачности при лесных пожарах.* Для моделирования динамики используется усовершенствованная модель свободной конвекции с учетом теплового потока из зоны горения. Исследована чувствительность образования облачности к интенсивности развития лесных пожаров. Показано, что интенсивность формирования облачности существенно зависит от термических и влажностных характеристик атмосферы. Численные эксперименты показали, что в летних условиях при относительной влажности меньше 70 % облачность может и вовсе не формироваться. В этом случае аэрозольные частицы достигают высоты 3–4 км и воздушным потоком переносятся на большие расстояния, тем самым приводя к пространственно-временной изменчивости газового и аэрозольного состава атмосферы в региональном и глобальном масштабах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект по. 09-05-00270.

1. Алоян А.Е., В.Н. Пискунов. Моделирование региональной динамики газовых примесей и аэрозолей. *Изв. РАН, ФАО*, 2005, **45**, 3, 328–340.

2. Алоян А.Е., В.О. Арутюнян. Моделирование динамики аэрозолей и формирование облачности при лесных пожарах. *Экологический вестник научных центров ЧЭС*, 2008, 3, 31–47.
3. Алоян А.Е. Моделирование динамики аэрозолей при лесных пожарах. *Изв. РАН, ФАО*, 2009, 45, 1, с. 1–14.
4. Алоян А.Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: Наука, 2008, 415 с.
5. Ермаков А.Н., И.К. Ларин, А.А. Угаров, Пурмаль А.П. О катализе ионами железа окисления SO_2 в атмосфере, *Кинетика и катализ*, 2003, 44, 4, 524.

Естественная освещенность земной поверхности при сплошной облачности по наблюдениям в Москве

Шиловцева О.А. (shil_o@mail.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Ленинские горы, 119991
Москва, Россия*

В Метеорологической обсерватории (МО) МГУ создана электронная база данных метеорологических и актинометрических характеристик при пасмурном небе: за 1965–2005 гг. выбраны сроки, когда количество облаков было либо 10/0 (верхний и средний ярусы), либо 10/10 (нижний ярус) в течение светового дня. Анализ динамики количества пасмурных дней показал, что за последние 40 лет в Москве повторяемость пасмурной погоды растёт. Всего наблюдалось 2363 пасмурных дня, что в 17 раз больше, чем безоблачных. Наиболее часты они в ноябре и декабре (в среднем, 2 дня из трех), а наименее – в мае–августе. Самыми пасмурными были ноябрь 1976 г., декабрь 1981 и 1982 гг. – солнечное сияние отсутствовало в течение 20 и более дней. Кроме того, ноябрь и декабрь – это единственные месяцы в году, когда пасмурные дни наблюдались всегда. В остальные месяцы они могут и отсутствовать. Наибольшая повторяемость пасмурных дней характерна для периода с середины 1970-х годов по конец 1990-х. В начале XXI в. число пасмурных дней неуклонно уменьшается. Наиболее часто в Москве наблюдается сплошной покров слоисто-кучевой облачности: более 10 % от общего числа наблюдений за год. Повторяемость сплошного покрова облаков верхнего яруса на порядок меньше. Наименее вероятен сплошной покров перисто-кучевой и кучевой облачности.

Для определения уровней естественной освещенности (E_q) при сплошном покрове облаков различных ярусов получены эмпирические зависимости солнечной радиации и освещенности от высоты Солнца. Анализировались случаи со сплошным покровом облаков верхнего (C_i , C_i+Ac) и нижнего ярусов (Sc , St , Cb , Ns и туман). Для каждого 5°-интервала высот солнца оценивались статистические характеристики изменчивости E_q . Например, коэффициент вариации V освещенности в интервале высот солнца $h = 35–40^\circ$ при ясном небе составляет около 10 %, что обусловлено изменениями, главным образом, оптической плотности аэрозоля. Наличие облаков верхнего яруса приводит к незначительному росту изменчивости освещенности: $V_{C_i} = 15 \%$. Сплошной покров слоисто-кучевой облачности увеличивает V в 3 раза ($V_{Sc} = 35 \%$) по сравнению с ясным небом, а плотные кучево-дождевые – до 5 раз ($V_{Cb} = 54 \%$). Изменчивость освещенности при сплошном покрове облаков слоистых форм меньше, чем при кучево-дождевых: $V_{Ns} = 42 \%$.

Совместный анализ зависимости суммарной освещенности от высоты солнца и оптической плотности облаков (τ_{cl}) показал, что пропускание освещенности с увеличением τ_{cl} неравномерно: например, при $h = 50^\circ$ при увеличении оптической плотности от 10 до 20 E_q уменьшается на 8 клк. При дальнейшем росте τ_{cl} происходит постепенное уменьшение этой разницы, и при увеличении τ_{cl} от 60 до 80 она уже не превышает 2 клк. В среднем освещенность ослабляется на 3–7 % меньше, чем интегральная радиация при любой форме облаков. Так, при слоисто-кучевой облачности наиболее вероятные величины пропускания приходятся на интервал 0.2–0.3 для радиации и 0.2–0.4 для освещенности при наличии слоистых облаков – 0.1–0.2 и 0.1–0.3, при дождевых облаках Cb и Ns – 0–0.2 и 0.1–0.2, соответственно.

Перистая облачность практически не влияет на величины светового эквивалента LEq – разница с LEq при ясном небе составила 1–2 % и статистически незначима. Слоисто-кучевые и слоистые облака приводят к значительному росту LEq – на 10–15 %, а при дождевых форм облаков LEq возрастает на 25–30 % по сравнению с LEq при ясном небе. Зависимость световых эквивалентов от высоты солнца при пасмурных условиях выражена очень слабо, что позволяет определить средние величины LEq для каждой формы облаков.

Работы поддерживались РФФИ (проект № 05-05-64696).

Радиационные и температурные эффекты пылевого аэрозоля Сахары

Горчакова И.А. (gorchakova@ifaran.ru), Мохов И.И.

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Рублев А.Н.

РНИЦ «Курчатовский институт», пл. И.В. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Сделаны количественные оценки радиационных и температурных эффектов пылевой бури в Западной Африке на границе Сахары в январе–феврале 2000 года. Переносимая ветром пыль оказывает существенное влияние на локальный коротковолновый радиационный форсинг аэрозоля. Для определения радиационных эффектов использовались данные о влагосодержании, оптических свойствах аэрозоля, альбедо поверхности и радиационных характеристиках, полученные в рамках наземной сети AERONET на станции (Нигерия, г. Илорин), (8.32° N, 4.34° E), расположенной на высоте 350 метров над уровнем моря.

В период пыльной бури оптические толщины аэрозоля возросли до значений более 3.5 при длине волны 500 нм. Параметр Ангстрема уменьшился с 1.2 до 0.3. С использованием данных измерений в условиях безоблачной атмосферы проведены численные расчеты изменений радиационных потоков на разных высотах за счет пылевого аэрозоля. Изменения за единицу времени (час, день) температуры приповерхностного слоя атмосферы толщиной $\Delta z = 10$ м определены по разности величин радиационного нагрева этого слоя с учетом аэрозоля и без его учета. Согласно расчетам по данным для 30 января, когда наблюдались максимальные за весь период пыльной бури оптические толщины пылевого аэрозоля, оценка приповерхностного охлаждения ΔT_s составляет в среднем около 13° C.

Статистические характеристики спектральных зависимостей аэрозольной оптической толщины на Звенигородской научной станции

Свириденков М.А. (misv@mail.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

С осени 2006 г. на Звенигородской научной станции (ЗНС) ИФА РАН ведутся регулярные наблюдения спектральной прозрачности атмосферы и яркости дневного безоблачного неба в солнечном альмукантарате с помощью фотометра CIMEL CE-318, входящего во всемирную сеть контроля аэрозоля в толще атмосферы AERONET. Фотометры AERONET регулярно калибруются в NASA. После повторной калибровки и коррекции результатов измерений, данным, полученным между двумя калибровками, присваивается окончательный уровень 2.0. В настоящее время уровень 2.0 имеют данные по сентябрь 2007 г. включительно.

В докладе рассматриваются результаты статистического анализа спектральных зависимостей аэрозольной оптической толщины (АОТ), полученных в марте–сентябре 2007 г. Для того чтобы иметь возможность сопоставить статистические характеристики АОТ с параметрами микроструктуры, в анализируемый массив были включены только те реализации, для которых на сайте AERONET решена обратная задача (191 случай за 60

дней). Кроме того, для этих же реализаций нами были обращены спектральные зависимости АОТ. Анализовались не сами АОТ, а их логарифмы. Спектральные ходы логарифмов АОТ в диапазоне 340–1020 нм оказались существенно однопараметрическими – первое собственное число соответствует более 96 % дисперсии. Первый собственный вектор имеет максимум на длине волны 675 нм. В диапазоне 340–500 нм коэффициенты корреляции АОТ не опускаются ниже 0.99. Уменьшение корреляции на наибольшей длине волны 1020 нм может быть частично связано с неполной фильтрацией ситуаций с тонкой полупрозрачной облачностью. Первый коэффициент разложения по системе собственных векторов тесно связан с восстановленным по АОТ объемным содержанием субмикронного аэрозоля в столбе атмосферы ($R > 0.98$). Корреляция с официальными данными AERONET ниже ($R = 0.9$). Оказалось, что восстановленный по АОТ эффективный радиус субмикронной фракции аэрозоля также может быть рассчитан как функция коэффициентов разложения логарифмов АОТ. Для данных на сайте AERONET такая связь не прослеживается. Объемные содержания субмикронного аэрозоля, полученные двумя методами, коррелируют на уровне 0.9. Между эффективными радиусами связь не наблюдается. В докладе обсуждаются возможные причины таких расхождений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 08-05-00659) и МНТЦ (проект 3254).

Субмикронный аэрозоль в воздушном бассейне г. Пекина

Емиленко А.С. (emilas@list.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Рассматриваются результаты спектрополяризметрических измерений оптических характеристик приземного аэрозоля, выполненные в течение 1992–2007 гг. в воздушном бассейне города Пекин. С целью оценки вклада антропогенных факторов в загрязнение атмосферы различных масштабов сопоставляются результаты синхронных измерений непосредственно в городе и в фоновых условиях. Проводились комплексные систематические измерения оптических свойств субмикронного аэрозоля в осенний и летний периоды в Пекине и в последние годы (с 2003 по 2007 год) на горе СинЛун в 150 км от Пекина на северо-восток. В комплекс измерительной аппаратуры был включен фотоэлектрический нефелометр поляриметр ФАН, который позволяет проводить измерения на трех длинах волн 410, 510 и 630 нм коэффициента направленного светорассеяния под углом 45° и степени линейной поляризации под углом рассеяния 90° . Типичным для Пекина и его окрестностей является очень высокая корреляция между всеми этими параметрами. С увеличением концентрации аэрозоля степень линейной поляризации уменьшается, что указывает на увеличение эффективного размера частиц. Правомерна однопараметрическая модель оптических характеристик, по крайней мере, тех, которые измеряются. Все эти выводы можно распространить на все циклы измерений.

Вместе с тем в 2000 году 4 ноября, а также 11 ноября 2002 года, был зафиксирован занос в регион Пекина запыленной воздушной массы из Внутренней Монголии. В период пыльной мглы произошли существенные отклонения от характерных для аэрозоля Пекина закономерностей. Таким образом, возможны в условиях такого крупного мегаполиса как Пекин ситуации, когда следует учитывать не только антропогенные источники замутнения атмосферы аэрозолями, но и природные, вызванные пылевыми бурями, при этом вклад в суммарное ослабление солнечного излучения значительно усиливается. Совместные измерения уровней рассеяния и линейной поляризации дали возможность при решении обратной задачи получить как распределение частиц по размерам, так и показатель преломления. Особенности Пекина – наличие высоких уровней загрязнения в виде смога. Рассматривались состояния атмосферы в приземном слое, когда концентрация тонкодисперсного аэрозоля превышала предельно допустимые концентрации.

Представлены результаты анализа данных спектрофелометрических измерений оптических характеристик субмикронной фракции аэрозоля во время смоговых эпизодов в Пекине в летние и осенние периоды измерений. Смоги Пекина – это более трети всех состояний воздушного бассейна города, они мелкодисперсны, основной размер частиц находится в пределах 0.2–0.4 мкм. Они хорошо аппроксимируются одномодальным логнормальным распределением. В смоговых ситуациях наблюдается также высокая корреляция концентрации аэрозоля в приземном слое и во всей толще атмосферы. Высокие концентрации примесей распространяется на обширную территорию, охватывая регион размером 300–500 км.

Анализ временной изменчивости концентрации сажевого аэрозоля

Копейкин В.М. (kopeikin@ifaran.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Измерение загрязнения воздуха сажевым аэрозолем в городах и сельских районах имеет большую актуальность, поскольку за последнее десятилетие резко сократилось число пунктов измерения Общегосударственной службы наблюдений и контроля за уровнем загрязнения атмосферы (ОГСНКА). В настоящее время в Москве содержание сажевого аэрозоля в воздухе наблюдается только на посту в центре города в здании Института физики атмосферы РАН.

Проведены измерения концентрации сажи в дневное время суток в центре Москвы в течение 20 лет с 1989 по 2008 гг. Значения концентрации сажи меняются в диапазоне 0.4–50 мкг/м³. В период 1989–1991 гг. прирост концентрации сажи за год составляет 0.85 мкг/м³, в 1991–1996 гг. он практически нулевой, а в период 1997–2000 гг. среднегодовая концентрация сажи снизилась до 4.3 мкг/м³, в 2001–2006 гг. почти не менялась и в 2007–2008 гг. приблизительно равна 3.3 мкг/м³. Уменьшение среднегодовых концентраций сажи с девяностых годов, возможно, связано со спадом производства в Москве. Самое низкое содержание сажи в атмосфере города в 2007–2008 гг., по-видимому, связано с теплыми зимами, когда инверсии становятся менее продолжительными и, вследствие этого, загрязнение воздуха сажей ниже. Противоречия (уменьшение концентрации сажи и рост в Москве числа автомашин) здесь нет, т.к. только 20–30 % из зарегистрированных в Москве автомобилей реально находится в движении на улицах мегаполиса, что определяется пропускной способностью улиц, которая уже перекрыта. К тому же, выхлопы современных автомобилей, использующих более чистое моторное топливо, содержат меньше загрязняющих атмосферу веществ.

Проведен анализ сезонной изменчивости концентрации сажи за 20 лет в Москве. Максимальные средние значения за 20 лет получены для осени и зимы, соответственно – 5.6 и 5.5 мкг/м³; минимальное – летом; 3.8 мкг/м³ и 4.6 мкг/м³ – весной. Наибольший вклад в среднегодовую изменчивость преимущественно дают осенний и зимний сезоны, когда циркуляционные условия в атмосфере сравнительно однородны. Рост температуры воздуха в Москве в 1991–2000 гг. также выше в холодный сезон – 1.4° С и 0.5° С в теплый сезон [1]. Нами установлено, что положительный тренд температуры воздуха соответствует отрицательному тренду концентрации сажи для всех сезонов.

Проведенные круглосуточные измерения концентрации сажи в период 1990–2007 гг. в Москве позволили получить средний суточный ход содержания сажи в воздухе города в разные сезоны. Суточный ход в зимние сезоны (1991, 2002, 2005 и 2006 гг.) и летние сезоны (1990, 1994 и 2007 гг.) обладает стабильной изменчивостью с максимумом приблизительно в 9–15 часов. В весенний и осенний сезоны суточный ход концентрации сажи (2002–2007 гг.) значительно отличается от суточных ходов, полученных в 1993 г. [2]. В последние годы наблюдается дневной минимум, а в 1993 году существовал дневной максимум. Это, возможно, связано с тем, что рост числа автомобилей и превышение пропускной

способности улиц сместили интенсивность автомобильного движения в сторону утреннего и вечернего времени, когда преобладают приземные и приподнятые инверсии.

Работа выполнена при поддержке гранта МНТЦ № 3288.

1. *Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы*, том 1, изд-во МГУ, 2003.
2. Копейкин В.М.. Сажевый аэрозоль в атмосфере города Москвы. *Изв. РАН, ФАО*, 1998, 34, 1, 104–110.

Восстановление микроструктуры и показателя преломления субмикронного аэрозоля по данным спектрополяриметрии

Исаков А.А. (A.A.Isakov@mail.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

В докладе приводятся результаты анализа данных, полученных в 2007–2008 гг. на Звенигородской научной станции с помощью проточного спектрополяриметра. Прибор регистрирует спектральные зависимости поляризационных компонент индикатрисы рассеяния света приземным аэрозолем на углах рассеяния 45, 90 и 135°. Спектральный диапазон прибора $\lambda = 0.4\text{--}0.75$ мкм. На основе этих данных с помощью решения обратной задачи восстанавливаются распределения объемов частиц по размерам и оценивается величина показателя преломления вещества частиц. Диапазон радиусов для восстанавливаемого распределения $r = 0.05\text{--}1.5$ мкм. Прибор оборудован низкотемпературным нагревателем заборного воздуха для оценки величины параметра конденсационной активности аэрозоля χ (параметра Хенела). Измерения с помощью спектрополяриметра выполнялись ежедневно, обычно в утренние или вечерние часы с тем, чтобы относительная влажность воздуха Rh была не ниже 0.6–0.7. Это повышает надежность определения параметра Хенела.

По спектральным зависимостям индикатрисы рассеяния для угла рассеяния 45° оценивались спектральные зависимости параметра Хенела $\chi(\lambda)$. По поведению этой величины можно судить о степени гигроскопичности частиц аэрозоля разных размеров. Принцип формирования массивов данных для статистического анализа обычно ориентируется на наличие характерных циклов вариаций анализируемых характеристик той или иной длительности. Для Центральной России календарное начало года обычно совпадает с установлением зимнего типа атмосферной циркуляции и, как следствие, с зимним характером вариаций аэрозольных параметров. Это дает основание при формировании массивов данных для статистического анализа проводить разбиение, в том числе, и по календарным годам.

В докладе представлены результаты анализа методом главных компонент спектральных зависимостей $\chi(\lambda)$, объединенных в два ансамбля – 2007 и 2008 гг. Количество реализаций в ансамблях порядка тысячи. Все три ансамбля оказались однопараметрическими – на первое собственное число приходится около 95 % дисперсии. Средние по ансамблям $\langle\chi(\lambda)\rangle$ заметно, на 0.1–0.2, различаются по уровню, но характер спектрального хода у них одинаков – линейный по длине волны рост от $\lambda = 0.4$ до $\lambda \approx 0.6$, далее резкий излом с выходом на $\langle\chi(\lambda)\rangle = \text{const}$. Это указывает на возрастание с ростом длины волны вклада в рассеяние даже в среднем менее гигроскопичных грубодисперсных частиц. Постоянство по длине волны величины первого собственного вектора указывает на то, что крутизна спектрального хода $\chi(\lambda)$ в среднем зависит от его величины – чем больше χ , тем меньше крутизна, и наоборот. Анализ связей параметра $\chi(\lambda)$ с величиной показателя преломления показал, что таковая связь существует, но носит «всплесковый» характер. Чаще всего эта связь наблюдается при смене воздушных масс, когда с ростом величины n растет и χ .

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 07-05-00860, 07-05-01080а и ISTC 3254.

Функция распределения частиц по размерам и вертикальные турбулентные потоки аэрозоля на опустыненных территориях

Карпов А.В., Горчаков Г.И. (gengor@ifaran.ru), Копейкин В.М.

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Курбатов Г.А. (gavriy@mail333.com)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы горы, 119991 Москва, Россия

Минеральный аэрозоль оказывает заметное влияние на радиационный режим атмосферы. Анализу процессов переноса минерального аэрозоля в земной атмосфере посвящено много работ. Однако некоторые важные характеристики процесса выноса аэрозоля с подстилающей поверхности изучены совершенно недостаточно. В связи с этим нами были выполнены исследования вариаций микроструктуры аэрозоля и турбулентных потоков на опустыненных территориях в широком диапазоне размеров частиц. На опустыненных территориях в Калмыкии и Астраханской области в 2005–2008 гг. были изучены флуктуации дифференциальных счетных концентраций частиц аэрозоля в приземном слое атмосферы [1]. Анализ флуктуаций позволил выделить фоновую компоненту аэрозоля и компоненту, обусловленную генерацией аэрозоля на подстилающей поверхности под воздействием ветропесчаного потока. Предложены аппроксимирующие распределения для микроструктуры указанных компонент аэрозоля.

Синхронные измерения дифференциальных счетных концентраций аэрозоля и турбулентных пульсаций вертикальной компоненты скорости ветра позволили рассчитать вертикальные турбулентные потоки счетных концентраций аэрозоля в широком диапазоне размеров от 0.5 до 5.0 мкм. Далее были определены вертикальные турбулентные массовые потоки для нескольких фракций аэрозоля и соответствующие нормированные потоки или скорости выноса аэрозоля с подстилающей поверхности. Полученные результаты измерений вертикальных турбулентных потоков субмикронного аэрозоля сопоставлены с аналогичными результатами, полученными в Приаралье в 1998 г. [2].

Работа поддержана РФФИ (грант 07-05-01080а и 08-05-10087к) и Программой ОНЗ РАН «Межгеосферные взаимодействия».

1. Карпов А.В. Флуктуации микроструктуры грубодисперсного и субмикронного аэрозоля на опустыненной территории. *Оптика атмосферы и океана*, 2008, 21, 10, 844–849.
2. Gorchakov G.I., Koprov B.M., Shukurov K.A. Vertical Turbulent Aerosol fluxes over Desertized Areas. *Izvestia, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2002, 38, 1, S138–S147.

Термический и радиационный режим пограничного слоя атмосферы при полном солнечном затмении

Курбатов Г.А. (gavriy@mail333.com)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы горы, 119991 Москва, Россия

Горчаков Г.И., Карпов А.В.

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А.

Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 1, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Влияние солнечных затмений на земную атмосферу до сих пор недостаточно изучено. В частности, большой интерес представляют затменные эффекты в пограничном слое атмосферы. С целью детального исследования радиационных и термических эффектов полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. в г. Новосибирске был осуществлен комплексный эксперимент [1], в рамках которого были предприняты измерения потоков коротковолновой и тепловой радиации и вертикальных профилей температуры воздуха в

пограничном слое атмосферы. Восходящий и нисходящий потоки коротковолновой солнечной радиации, инфракрасное излучение земной поверхности и противоизлучение атмосферы измерялись с помощью балансомера CNR1. Согласно данным измерений радиационный баланс во время солнечного затмения в течение примерно 30 минут был отрицательным. Максимальное снижение температуры воздуха в приземном слое атмосферы достигало 2.0–2.5° С. Профили температуры воздуха в пограничном слое атмосферы измерялись с помощью СВЧ-профилемеров МТП-5 в двух пунктах города: в Академгородке до высоты 600 м и в центре города (ул. Советская) до высоты 1000 м. Уменьшение температуры воздуха во время солнечного затмения прослеживалось до высот 400–500 м. Скорость охлаждения воздуха во время затмения с высотой уменьшалась, что приводило к повышению устойчивости пограничного слоя атмосферы.

В Академгородке проводились измерения турбулентных пульсаций компонент скорости ветра и температуры воздуха. Анализ данных измерений показал, что во время затмения режим турбулентности заметно менялся. Повышение устойчивости пограничного слоя атмосферы способствовало подавлению динамической и термической турбулентности в приземном слое атмосферы.

Было выполнено сопоставление полученных результатов с результатами аналогичных исследований во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 г. в г. Кисловодске [2, 3].

Авторы выражают благодарность за поддержку при проведении исследований О.А. Дубровской, И.Н. Кузнецовой и В.П. Юшкову.

Работа частично поддержана РФФИ (гранты 08-05-10087к и 08-05-00984а).

1. Горчаков Г.И., Петров А.К., Исаков А.А. и др. Влияние солнечного затмения на процессы в приземном и пограничных слоях атмосферы. *Аэрозоли Сибири XV. Тезисы докладов*. Томск: ИОА СО РАН, 2008, 41–42.
- Горчаков Г.И., Кадыгров Е.Н., Исаков А.А. и др. Влияние солнечного затмения на термическую стратификацию и режим турбулентности. *Доклады АН*, 2007, **417**, 1.
- Горчаков Г.И., Кадыгров Е.Н., Кортунова З.В. и др. Затменные эффекты в пограничном слое атмосферы. *Изв. РАН, ФАО*, 2008, **44**, 1, 104–111.

Определение аэрозольной микроструктуры по данным оптических измерений

Егоров А.Д. (egorovad@rambler.ru), Перельман А.Я., Куликов В.Н., Саноцкая Н.А.,
Раух М.В., Маслова Л.А.

*Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196,
Санкт-Петербург, Россия*

Для интерпретации результатов определения аэрозольной микроструктуры по данным измерений оптических параметров атмосферы необходимо знание оптико-микроструктурных связей частиц. Задача установления этих связей достаточно сложна из-за существования различных аэрозольных фракций. Концентрация частиц аккумулятивной фракции, источником которых являются промышленные и транспортные выбросы, определяет оптические свойства аэрозоля. Среди других факторов, усложняющих задачу, можно выделить значительную изменчивость микро-оптических характеристик частиц. Индикатриса направленного рассеяния может существенно изменяться при изменении структуры аэрозольной частицы (в частности, при ее обводнении). В связи с этим актуален теоретический анализ оптико-микроструктурных связей аэрозольных частиц, найденных экспериментальным путем, и моделирование их оптических свойств на этой основе. Моделирование процесса рассеяния электромагнитных волн облучаемыми аэрозольными структурами предполагает решение системы уравнений Максвелла относительно векторов напряженностей электрического и магнитного полей.

Для анализа экспериментальных результатов рассматривается модель частицы с радиально изменяющимся показателем преломления в оболочке, покрывающей однородное ядро. Уравнения решаются методом разделения переменных. При этом вместо

дифференциальных уравнений Бесселя получаются дифференциальные уравнения второго порядка с переменными коэффициентами, которые интегрируются численно.

В результате выполнения совместных лидарных (трансмиссометрических) и фотоэлектрических измерений была установлена корреляция между коэффициентом ослабления и интегральной счетной концентрацией частиц. Найденную связь можно использовать для определения содержания аэрозоля в воздухе. Она оказалась стабильной в серии выполненных экспериментов. Для объяснения этого факта рассматривается предложенная оптическая модель частицы и измеренное (сравнительно стабильное) распределение частиц по размерам. При этом учитываются результаты фильтровых измерений, выполненных одновременно с фотоэлектрическими измерениями. Принимается во внимание, что между результатами, найденными различными методами (фотоэлектрическим и фильтровым) имело место удовлетворительное согласие в п. Воейково (замутненная атмосфера), Репетеке и Абастумани. Для обоснования модели важен факт существенного различия этих результатов в п. Воейково, когда атмосфера была прозрачной.

Эта модель может быть полезна для анализа точностных характеристик фотоэлектрической аппаратуры, предназначенной для аэрозольных измерений. В частности, при измерениях характеристик атмосферного аэрозоля можно достичь существенного уменьшения влияния оптических свойств частиц на результаты измерений за счет выбора угла рассеяния излучения.

Особенности годового хода спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы в Сибири

Сакерин С.М. (sms@iao.ru), Кабанов Д.М.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зюева, 634021 Томск, Россия

Корниенко Г.И.

Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, Уссурийск, Россия

Поддубный В.А.

Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Смирнов А.В.

Центр космических полетов Годдарда (GSFC/NASA), Гринбелт, США

На основе многолетних измерений спектральной прозрачности атмосферы обсуждаются особенности годового хода аэрозольной оптической толщины (АОТ) и влагосодержания атмосферы для ряда районов Сибири. Более подробные данные по диапазону спектра (0.34–4 мкм) приводятся для Томска. Среди основных особенностей внутригодовой изменчивости аэрозольного замутнения отмечаются следующие. Максимумы АОТ наблюдаются в апреле–мае ($\tau_{0.5}$ более 0.18) и июле, есть локальный минимум в июне, а минимальные значения АОТ – в октябре–ноябре ($\tau_{0.5}$ менее 0.11). Более выражена сезонная изменчивость в УФ области спектра: например, на длине волны 0.37 мкм амплитуда годового хода АОТ составляет 0.11 при среднегодовом значении 0.21. Показатель селективности Ангстрема максимальный в июле ($\alpha = 1.5$) и минимальный зимой ($\alpha = 1$). Приводятся средние спектральные зависимости $\tau(\lambda)$, а также значения параметров α и β формулы Ангстрема для характерных месяцев года. Оцениваются межгодовые вариации сезонного хода и особенности изменчивости компонент АОТ, обусловленных субмикронным и грубодисперсным аэрозолем.

Сравнение годового хода АОТ в Томске, рассчитанного по многолетнему (1995–2008 гг.) и более короткому периоду (2003–2008 гг.) показало малое отличие результатов. Это дало основание проанализировать менее продолжительные (с 2003 г.) ряды наблюдений в других регионах. Показано, что наряду с некоторыми отличиями, общая закономерность сезонной изменчивости АОТ в Томске и Сибири одинакова. Предложен

средний для Сибири годовой ход характеристик, в котором отмечается общий характер изменения τ_λ , показателя α и влагосодержания – низкие значения в холодный период и повышенные в теплый (общий максимум наблюдается в июле). Относительные сезонные изменения τ_λ и α примерно одинаковы 20–30 %. Более выражено годовое колебание у влагосодержания, которое изменяется в ~ 3 раза относительно среднегодового уровня.

Отличие поведения трех характеристик проявляется в разном периоде перехода через среднегодовой уровень: сначала $\tau_{0.5}$ (март–сентябрь), затем показатель α (апрель–октябрь) и последнее – влагосодержание (май–октябрь). Период повышенных значений $\tau_{0.5}$ и α составляет 7 месяцев, а у влагосодержания – 5 месяцев. Различие обусловлено дополнительным весенним всплеском АОТ, которого нет у влагосодержания. Можно предполагать, что характер годового хода τ_λ определяется наложением двух процессов:

а) годичным колебанием АОТ, в результате роста (затем спада) генерации первичного и вторичного аэрозоля с наступлением теплого периода под влиянием смены состояния подстилающей поверхности, увеличения солнечной радиации, конвекции и турбулентности;

б) весенним всплеском АОТ, обусловленного высвобождением при таянии снега накопившегося аэрозольного материала, эмиссией органического аэрозоля в период цветения растений и грубодисперсного аэрозоля с оголенной почвы, не покрытой растительностью.

Отмечается, что характеристики среднего для Сибири годового хода АОТ в традиционном диапазоне исследований (0.34–1.05 мкм) мало отличаются от данных для Томска за более продолжительный период. Следовательно, томские данные о сезонной изменчивости τ_λ в расширенном диапазоне спектра (0.37–4 мкм) можно использовать в качестве средних характеристик для фоновых районов Сибири.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 75.

Результаты двухточечных экспериментов по оценке антропогенного воздействия города на характеристики прозрачности атмосферы

Сакерин С.М. (sms@iao.ru), Кабанов Д.М., Турчинович С.А., Насртдинов И.М.,
Турчинович Ю.С.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зueva, 634021 Томск, Россия

Один из подходов оценки величины антропогенных загрязнений основывается на проведении двухточечных экспериментов в городской зоне и фоновом районе. В докладе обобщены результаты параллельных измерений двух наиболее переменных компонентов атмосферного замутнения – аэрозольной оптической толщины (АОТ) и общего влагосодержания, которые определялись по наблюдениям спектральной прозрачности атмосферы с использованием солнечных фотометров. Основной пункт, где ведутся круглогодичные измерения прозрачности атмосферы, расположен в восточном пригороде Томска (Академгородок). Второй пункт наблюдений находится в лесной зоне – на полигоне “Фоновый”, удаленном от города на 60 км в западном направлении. При таком расположении приборов, с учетом западного–юго-западного переноса воздушных масс, можно полагать, что Академгородок находится в зоне антропогенного воздействия города, а второй пункт представляет фоновый район для исследуемого региона.

Для выявления антропогенного воздействия использовались результаты нескольких циклов измерений прозрачности атмосферы, преимущественно в летние периоды 1997, 1999, 2000, 2001, 2006, 2007 и 2008 гг. Общее количество совместных измерений составило 82 дня и 286 среднечасовых замеров. Обсуждаются статистические характеристики полученных данных для общего массива и отдельных периодов: средние значения и стандартные отклонения спектральных АОТ, показателя селективности Ангстрема α , мелко- и грубодисперсных компонентов АОТ, влагосодержания W , а также коэффициенты взаимной корреляции R и средние разности $\Delta_{\lambda-\phi} = (\tau_\lambda - \tau_\phi)$ характеристик в двух районах “город–фон”.

Анализ общего массива данных показал, что изменение характеристик в двух районах, как правило, носит согласованный характер и происходит в синоптическом масштабе колебаний. Наиболее тесная взаимосвязь и малое отличие данных наблюдается по влагосодержанию атмосферы. Среднее различие АОТ атмосферы в двух районах тоже невелико – основная часть (~ 80 %) разностей АОТ сосредоточена в диапазоне до 0.05. Отдельные данные с более высокими значениями $\Delta_{z-\phi}$ (до ~ 0.15) являются следствием трех основных причин: 1) влиянием локальных источников аэрозоля в каждом пункте; 2) несинхронностью изменения замутнения при прохождении фронтов и смене воздушных масс; 3) остаточным влиянием полупрозрачной облачности, не исключенной в том или ином районе при обработке данных. Если исключить данные с указанными специфическими отклонениями, то коэффициенты взаимной корреляции возрастают (в видимой области – более 0.9), и заметно уменьшается отклонение от прямой регрессионной зависимости.

Кроме того, показывается, что для отдельных циклов двухточечных экспериментов (2–4 недели) могут наблюдаться большие отличия характеристик. Например, для зимне-весеннего эксперимента 2001 г. превышение спектральных АОТ в городской зоне составило 0.04–0.08 (около 50 %). Большие отличия АОТ атмосферы для отдельных циклов могут быть обусловлены как сезонными особенностями, так и недостаточной продолжительностью (статистикой) наблюдений.

Таким образом, результаты исследований показали, что, по крайней мере, в теплый период Томск не оказывает значимого воздействия на замутнение атмосферы – средние отличия АОТ и влагосодержания в фоновом районе и Академгородке невелики. В тоже время, для отдельных периодов наблюдений (особенно малой продолжительности) отличия данных в двух районах могут быть более существенные.

Применительно к данным многолетних наблюдений в Академгородке, дополнительно был рассмотрен вопрос зависимости АОТ атмосферы от направления ветра. Расчеты показали, что в случаях переноса воздуха со стороны города (направления ветра из западного сектора), аэрозольное замутнение не увеличивается. При более детальном анализе было выявлено даже небольшое уменьшение мелкодисперсной компоненты АОТ (средней величиной ~ 0.01) при направлениях ветра со стороны города.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 75 и проекта № 16.1 программы фундаментальных исследований Президиума РАН.

Влияние угловых ограничений фотоприемных устройств на нисходящую диффузную солнечную радиацию

Насртдинов И.М. (wizard@iao.ru)

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 634021, пл. Ак. Зуева 1, 634021 Томск, Россия

Существует ряд задач, в которых необходимы оценки полусферических ($\Omega = 2\pi$) потоков радиации при реальном или искусственном ограничении угла поля зрения (УПЗ) фотоприемных устройств типа пиранометров. Так, при измерении нисходящей диффузной радиации далеко не всегда выполняется условие полностью открытого небосвода (горизонт или поле зрения пиранометра частично перекрывается различными объектами), что требует учета соответствующей погрешности. Повышение точности определения альбедо однократного рассеяния аэрозоля (АОР) на основе Direct/Diffuse методики требует учета неортоотропности реальных фотоприемных устройств в области больших углов падения излучения [1]. Решение этой задачи может быть упрощено, если показать, что искусственное ограничение поля зрения фотоприемника ($\Omega_1 < 2\pi$) незначительно скажется на потере чувствительности при реализации метода Direct/Diffuse.

В докладе обсуждаются результаты моделирования диффузной солнечной радиации, выполненного для двух типов ограничений угла поля зрения приемника ($\Omega_1 < 2\pi$) в сопоставлении с данными для случая $\Omega = 2\pi$: 1) экранирование в области горизонта – при

зенитных углах ξ от 80 до 90°; 2) экранирование в области зенита до $\xi = 60^\circ$. Расчеты приходящей радиации проводилось методом Монте-Карло в рамках плоско-параллельной модели атмосферы в спектральных каналах спектропианометра MFR-7.

Получены оценки приходящей радиации в зависимости от угла поля зрения Ω_1 приемника. Для широкого набора входных параметров уменьшение угла поля зрения до 80° приводит к сокращению диффузной радиации до 10 %. Рассматривается зависимость отношения D^*/S от АОР аэрозоля и альbedo подстилающей поверхности (D^* – нисходящий поток, регистрируемый приемником с УПЗ Ω_1 ; S – прямое солнечное излучение). Показано, что чувствительность D^*/S к АОР изменяется менее чем на 1–2 % по сравнению с D/S (D – нисходящий поток со всей полусферы). Полученный результат может быть полезным для модификации методики Direct/Diffuse.

При перекрытии небосвода в области зенита до 60° величина регистрируемого потока уменьшается почти в два раза. Чувствительность к изменению АОР для слабо замутненной атмосферы увеличивается на 1–3 % и возрастает в условиях больших аэрозольных оптических толщин и альbedo подстилающей поверхности до 5–8 %.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-05-00961 и проекта ОНЗ-12.

1. Свириденков М.А., Аникин П.П., Журавлева Т.Б., Насртдинов И.М. Параметризация отношения потоков рассеянного и прямого солнечного излучения и ее использование для оценок альbedo однократного рассеяния с помощью приборов типа MFRSR. *Оптика атмосферы и океана*, 2008, **21**, 4, 333–338.
2. Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Фирсов К.М. Моделирование прямого радиационного форсинга аэрозоля для типичных летних условий Сибири. Часть 1: метод расчета и выбор входных параметров. *Оптика атмосферы и океана*, 2009, **22**, 2, 163–172.

Яркость неба в альмукантарате Солнца в малооблачной атмосфере: результаты численного моделирования и экспериментальные данные

Бедарева Т.В. (btv@iao.ru), Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Насртдинов И.М., Сакерин С.М.
Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зueva, 634021 Томск, Россия

Как известно, спектральные измерения прямой и диффузной солнечной радиации позволяют восстанавливать многие оптические и микрофизические характеристики атмосферного аэрозоля. Существующие методы развиты для применения в условиях безоблачного неба, вследствие чего возможности их использования во многих регионах земного шара существенно сужаются. Например, в Сибири реализация в полном объеме известных AERONET методик составляет 2 % случаев от общего числа наблюдательных ситуаций – в частности, из-за наличия отдельных облаков. В этой связи важной задачей является исследование возможностей применения известных методов восстановления характеристик аэрозоля в *малооблачных* ситуациях.

В докладе представлены результаты исследований угловой структуры нисходящей диффузной радиации при появлении облаков. Для построения облачных реализаций использована модель на основе пуассоновских потоков точек в пространстве. Расчеты яркости молекулярно-аэрозольной (B_{clr}) и облачной (B_{cld}) атмосфер выполнены на основе оригинальных методов Монте-Карло в предположении, что облака аппроксимируются простейшими геометрическими фигурами (эллипсоид, опрокинутый усеченный параболоид вращения). Приведены результаты численного моделирования и измерений диффузной радиации в альмукантарате Солнца для четырех длин волн 0.44, 0.67, 0.87 и 1.02 мкм, соответствующих центрам спектральных каналов солнечного фотометра CE-318.

Подробно обсуждаются факторы, воздействующие на изменения яркости неба при появлении на небосводе *отдельного облака*. Формирование рассеянной радиации в околооблачном пространстве происходит под влиянием дополнительной подсветки за счет отражения от облака и частичного затенения облаком визируемого столба атмосферы в зоне тени. В результате совместного влияния двух конкурирующих факторов в некотором

диапазоне азимутальных углов φ затененной зоны выполняется соотношение $K(\varphi) = B_{cld}(\varphi)/B_{clr}(\varphi) < 1$. Представлены оценки изменений спектрально-угловых характеристик диффузной радиации $K(\varphi)$ в зоне радиационного воздействия облака при его различных оптико-геометрических параметрах и условиях эксперимента (коэффициент ослабления в облаке, его положение относительно линии визирования, зенитный и азимутальный углы наблюдений и т.д.). В частности, всплеск яркости в пределах облака $K(\varphi)$ увеличивается с уменьшением длины волны, поскольку оптические характеристики облака, в отличие от самой атмосферы, в рассмотренном спектральном диапазоне остаются практически неизменными. Полученные оценки качественно согласуются с данными натурных экспериментов.

Результаты численного моделирования в широком диапазоне входных параметров показали, что вне облака и околооблачной зоны изменение яркости неба при появлении отдельного облака оказывается *несущественным*: в большинстве рассмотренных случаев относительное различие между $B_{cld}(\varphi)$ и $B_{clr}(\varphi)$ не превышает 1.5–2 %. Это дает основание для распространения условий применимости некоторых методов солнечной фотометрии атмосферы на малооблачные ситуации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00961 и проекта ОНЗ-12 (7.12.1).

Роль микрофизических свойств облаков в радиационной энергетике атмосферы

Дмитриева-Аппаго Л.Р. (dmitrieva@mecom.ru), Шатунова М.В., Рублев А.Н., Перов В.Л.
Гидрометеоцентр России, Бол. Претеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия

Исследованы особенности взаимодействия солнечного излучения с облаками. В связи с тем, что при моделировании атмосферных процессов расчет характеристик облачности выполняется с определенной степенью приближенности, представляется необходимым исследовать зависимость эффектов взаимодействия от вариаций характеристик облачности. В частности, от вариации водности, средних радиусов распределения частиц облака по размерам, параметров распределения и др. Были проведены численные эксперименты для исследования зависимости потоков солнечного излучения при вариациях указанных характеристик облачности. Для численных экспериментов использован алгоритм, основанный на решении уравнения переноса излучения в двухпоточковом приближении дельта-Эддингтона с использованием формул теории Ми для расчета оптических свойств облаков. В качестве функции распределения частиц по размерам использовано гамма-распределение для капельной и кристаллической фазы облаков. Качество разработанного алгоритма было оценено путем сравнения с полинейными расчетами методом Монте-Карло.

Оценки показали достаточно высокое согласование результатов разработанного алгоритма и эталонных расчетов. Расчеты потоков солнечного излучения были выполнены с использованием известных моделей облаков [1], которые содержат необходимые характеристики, и результатов расчетов полей облачности и водности, средних радиусов с помощью модели преобразования влаги [2]. Эксперименты показали, что с увеличением водности облака заметно уменьшение потока солнечного излучения, приходящего на подстилающую поверхность. Причем, наибольшее изменение происходит при малых значениях водности. Баланс на верхней границе атмосферы также существенно уменьшается при увеличении водности, что означает меньшие потери энергии в системе земля-атмосфера. Притоки к облачному слою увеличиваются при увеличении водности так же, как альbedo облачного слоя.

Анализ полученных результатов показал, что погрешность в определении водности облака в 0.02 г/м^3 , особенно при малых значениях самой водности до 0.1 г/м^3 , может привести к ошибкам в расчете баланса излучения на поверхности до 30 Вт/м^2 . При больших

погрешностях в определении водности погрешность потока на подстилающую поверхность может увеличиваться до 50 Вт/м^2 и больше. Эти оценки получены при среднем радиусе распределения частиц равным 6 мкм. Изменение среднего радиуса с 6 до 9 мкм приводит к уменьшению альбедо облака на 10 % и увеличению потока излучения на подстилающую поверхность до 30 Вт/м^2 в случае капельного облака. Для смешанного облака эти изменения оказались больше. При доле кристаллической фазы равной 0.5 альбедо уменьшится на 14 %, а поток на поверхности возрастает на 45 Вт/м^2 .

Результаты проведенных экспериментов показали, что микрофизические характеристики облаков существенно влияют на потоки излучения на границах атмосферы. Поскольку поток солнечной радиации, приходящий на подстилающую поверхность, является основным источником для формирования температуры поверхности, то были выполнены оценки изменения температуры с учетом возможных погрешностей рассчитанного приходящего потока, обусловленных неточностью информации о микрофизических свойствах облаков. Оказалось, что изменения температуры поверхности могут быть значимыми и составлять в некоторых случаях 2–3 градуса.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 07-05-00716.

1. Stephens, G.L. Radiation profiles in extended water clouds. I. Theory. *J.Atmos.Sci.*, 1978, **35**, 2111–2122.
2. Дмитриева-Аппаго Л.Р. Методы краткосрочного прогноза неконвективной облачности и осадков на основе модели преобразования влаги с учетом параметризации микрофизических процессов. 1. Модель преобразования влаги в атмосфере и прогноз неконвективной облачности; 2. Метод прогноза осадков, основанный на рассчитанных полях водности и параметризации микрофизических процессов в неконвективных облаках. *Метеорология и гидрология*, 2004, **2**, 5–26; **3**, 27–50.

Методические аспекты оценки аэрозольного поглощения по данным нефелометрических и трассовых измерений

Терпугова С.А. (swet@iao.ru), Панченко М.В., Ужегов В.Н.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, пл. Ак. Зуева 1, 634021 Томск, Россия

Из всех характеристик атмосферного аэрозоля альбедо однократного рассеяния является важнейшей с точки зрения аэрозольного климатического воздействия. Существует значительное число расчетных и экспериментальных методов его определения, но до сих пор эту проблему нельзя считать окончательно решенной. Один из подходов базируется на решении обратной задачи по данным измерений аэрозольного рассеяния и последующем расчете альбедо однократного рассеяния с использованием восстановленных спектров размеров частиц и значений оптических констант вещества аэрозоля.

В Институте оптики атмосферы СО РАН в течение более 10 лет проводятся комплексный мониторинг характеристик атмосферного аэрозоля, включающий в себя измерения рассеяния света в локальном объеме при помощи нефелометра и ослабления излучения на приземной горизонтальной трассе, а также массовой концентрации сажи. Данные нефелометрических измерений затем обращаются на спектр размеров и комплексный показатель преломления субмикронного аэрозоля. Однако набор измеряемых нефелометром параметров не дает возможности отдельного определения вещественной и мнимой части комплексного показателя преломления – надежно восстанавливается только их линейная комбинация [1].

Для устранения этой неоднозначности была предпринята попытка совместного анализа характеристик светорассеяния, измеряемых нефелометром, и спектральных аэрозольных коэффициентов ослабления на приземной трассе. На первом этапе обратная задача была решена для модельных оптических характеристик, рассчитанных для суперпозиции широкого логнормального распределения частиц непоглощающего аэрозоля по размерам и набора узких логнормальных фракций сажевых частиц при различных соотношениях объемов сажи и аэрозоля. Затем данная методика была апробирована на реальных экспериментальных данных. Однако в этом случае возникает проблема, связанная с учетом

вклада грубодисперсного аэрозоля в измеряемые на трассе коэффициенты ослабления. Разделение коэффициентов ослабления на составляющие, обусловленные частицами разных фракций, проводилось по статистической методике [2]. Обратная задача решалась для оптических характеристик, обусловленных только субмикронной фракцией аэрозоля.

Анализ полученных оптических невязок показал, что включение аэрозольных коэффициентов ослабления излучения в схему обращения позволяет снизить неопределенность в выборе значений действительной и мнимой части показателя преломления аэрозольных частиц. В докладе также приводятся результаты оценки альбедо однократного рассеяния субмикронного аэрозоля.

1. Панченко М.В., Свириденков М.А., Терпугова С.А., Козлов В.С. Активная спектрофелометрия в исследовании микрофизических характеристик субмикронного аэрозоля. *Оптика атмосферы и океана*, 2004, 17, 5–6, 428–436.
2. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. О роли дисперсных фракций приземной дымки в ослаблении видимого и инфракрасного излучения. *Оптика атмосферы и океана*, 1999, 12, 1, 19–22.

Фазовая функция и поляризационные характеристики света, рассеянного на горизонтально ориентированных частицах перистых облаков

Бурнашов А.В. (bvaleksey@iao.ru)

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Академический пр. 1, 634021 Томск, Россия

Проблема рассеяния света ледяными кристаллами перистых облаков является одной из наиболее актуальных задач атмосферной оптики вследствие существенного влияния перистых облаков на радиационный и тепловой баланс Земной поверхности. Поэтому при построении численных моделей прогнозирования и изменения климата как в локальных, так и глобальных масштабах, необходимо учитывать оптические и микрофизические свойства света, рассеянного ледяными кристаллами перистых облаков.

В настоящее время детально изучены только оптические характеристики ледяных кристаллов в случае их хаотической ориентации в пространстве. Вместе с тем, в перистых облаках всегда присутствуют ледяные кристаллы, которые имеют преимущественную ориентацию в горизонтальной плоскости. Исследований, посвященных анализу свойств света, рассеянного на ледяных кристаллах с подобной ориентацией, немного. И все эти работы носят скорее иллюстративный характер, т.к. в них приведены данные для небольшого числа входных параметров, а численные результаты невозможно восстановить из приведенных там графиков. Таким образом, можно сделать вывод, что, несмотря на то, что уже на протяжении последних 20–30 лет ведутся целенаправленные исследования характеристик света, рассеянного на ледяных кристаллах перистых облаков, свойствам света, рассеянного при горизонтальной и преимущественной ориентациях даже простых геометрических форм кристаллов уделялось недостаточно внимания.

Поэтому, основное внимание было уделено анализу характеристик света, рассеянного на горизонтально ориентированных гексагональных частицах перистых облаков, как наиболее распространенных формах кристаллов. Кроме того, для моделирования рассеяния света на преимущественно ориентированных частицах также необходимо знать характеристики света, рассеянного на выбранных частицах с их горизонтальной ориентацией в пространстве. Кратко описать полученные результаты можно следующим образом. Индикатрисы рассеяния света горизонтально ориентированными и преимущественно ориентированными гексагональными пластинчатыми и столбчатыми кристаллами были рассчитаны в пределах геометрической оптики. Основные количественные характеристики гало (ложное солнце, паргелий 120 градусов, верхняя дуга Парри, нижняя дуга Парри и другие) получены для пластинок и столбиков как при различных углах падения, так и для разных факторов форм частиц. Параметризация индикатрисы рассеяния паргелического, субпаргелического и околосенитного (окологоризонтального) кругов для пластинчатых

кристаллов и вся рассеянная энергия для столбчатых кристаллов базируется на интегральных вкладах в узких углах (гало), которые протабулированы как весовые коэффициенты.

Кроме того, был проанализирован вектор параметров Стокса при различных параметрах на основе модифицированной матрицы рассеяния. В частности, было обнаружено и объяснено отсутствие влияния фактора накопления в гало, сильное уменьшение линейных и круговой поляризации в направлении назад. Основываясь на полученных данных, был сделан качественный вывод о предпочтительном использовании линейной под 45 градусов и круговой поляризации для дистанционного зондирования перистых облаков.

Моделирование и спутниковое зондирование структуры облачного покрова

Дубровская О.А. (olga@ict.nsc.ru), Пестунов И.А.

Институт вычислительных технологий СО РАН, пр. академика Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия

Мальбахов В.М.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, пр. академика Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия

Сухинин А.И.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Академгородок, 660036 Красноярск, Россия

В прикладных задачах прогноза различных метеорологических явлений информация об облачности используется для восстановления параметров атмосферного пограничного слоя. Спутниковые снимки облачности представляют собой своеобразную синоптическую карту региона и поэтому используются синоптиками при составлении краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений.

Цель данной работы – построение и реализация информационно-аналитической системы идентификации облаков, облачных скоплений, дымовых факелов и других атмосферных образований для прогноза погодных условий в нижней и средней тропосфере. В основу системы положен анализ дискретной совокупности облаков как элементов облачного ансамбля, с одной стороны, и как объектов с индивидуальными свойствами (размеры, мощность, водность, местоположение), с другой. С помощью статистического анализа определяются интегрированные характеристики облачных кластеров. Предлагается комбинированный вероятностный подход, содержащий результаты численного моделирования облачных ансамблей как набор эталонов для сопоставления с реальным распределением облаков.

Основной акцент делается на теоретическое объяснение тонкой структуры облачных ансамблей. Для этих целей разработаны методы с использованием спутниковых данных для оценки взаимосвязи формы и структуры облачности и дымовых шлейфов с распределениями ветра, температуры и влажности. В качестве данных дистанционного зондирования использованы материалы съемок низкого и среднего пространственного разрешения, полученные со спутников NOAA/AVRR/TOVS и Terra/MODIS для территории Сибири и Дальнего Востока. Доступ к спутниковым данным осуществлялся посредством системы сбора, хранения и обработки данных дистанционного зондирования, сделанной в Институте вычислительных технологий СО РАН [1].

Форма и структура облачности и дымовых шлейфов анализировалась с помощью геоинформационных систем ARC-MAP 9 и ERDAS IMAGIN 8.7. Программа приема изображений облачности с космических аппаратов NOAA в формате Analog Picture Transmission производит их последующую тематическую обработку по метеорологическим параметрам. Созданный программный продукт позволяет восстанавливать фактические и прогностические значения некоторых метеорологических параметров по яркостным

характеристикам облачного покрова на основе методик, разработанных Росгидрометом, учитывающих региональные особенности. К этим параметрам относятся температура и высота верхней границы облачности, скорость и направление ветра на разных изобарических высотах, количество осадков. Также можно идентифицировать вид облачности и соответствующие ему метеорологические явления с определением их максимальной интенсивности. Метод восстановления поля ветра применяется для облачных кластеров, имеющих вихревую структуру.

Исследования показали, что в плоскопараллельном потоке со сдвигом и вращением ветра с высотой возможно возникновение мезомасштабных квазипорядоченных облачных кластеров, а в облачных структурах больших масштабов возникает другой тип, связанный с особенностями атмосферных циклонов.

1. Шокин Ю.И., Пестунов И.А., Смирнов В.В. и др. Распределенная информационная система сбора, хранения и обработки спутниковых данных для мониторинга территорий Сибири и Дальнего Востока. *Журн. Сибирского федерального ун-та. Техника и технологии*, 2008, т. 1, вып. 4, 291–314.

Восстановление спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы и альbedo подстилающей поверхности по спутниковым данным с использованием быстрого кода переноса излучения

Кацев И.Л. (katsev@light.basnet.by), Прихач А.С., Зере Э.П., Иванов А.П.
Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Белоруссия

Кохановский А.А.
Institute of Environmental Physics, Bremen, Germany

Практически во всех известных алгоритмах атмосферной коррекции спутниковых данных используется метод lookup tables (LUT). Его достоинством является значительное сокращение объема вычислений, что весьма существенно при отсутствии быстрых процедур расчета переноса излучения в системе атмосфера-подстилающая поверхность. Недостатком этого метода является необходимость использования огромного массива предварительно насчитанных данных, необходимость практически полного пересчета и замены этого массива при изменении каких-либо параметров модели, а также невозможность учета многопараметрических моделей ввиду резкого увеличения объема массива данных. С этим связана необходимость использования ряда априорных ограничений, а также фиксированного набора рабочих длин волн.

В докладе будет представлен новый алгоритм ART (Aerosol Retrieval Technique) восстановления аэрозольной оптической толщины (AOT), параметра Ангстрема и альbedo поверхности по спутниковым данным. Главным отличием ART от MODIS, MISR, BAER и других известных кодов является то, что он не использует метод LUT, а основан на развитом ранее авторами исключительно быстром коде RAY для расчета задач переноса излучения в системе атмосфера-подстилающая поверхность с учетом состояния поляризации. Он позволяет включать различные модели молекулярно-газовой атмосферы и распределения аэрозоля в верхней и средней атмосфере, обрабатывать данные для различных длин волн спутникового инструмента, а также использовать метод наименьших квадратов при восстановлении параметров атмосферы и подстилающей поверхности, что обеспечивает оптимальное использование информации, содержащейся в многоспектральных спутниковых данных.

Одним из важнейших вопросов при обработке многопиксельных спутниковых изображений является время проведения расчетов. В настоящее время восстановление AOT, параметра Ангстрема и альbedo поверхности для 10^5 пикселей алгоритмом ART занимает время порядка 30 мин на обычном компьютере. Мы разработали еще более быстрый алгоритм FAR, в котором используется комбинация аналитических решений и численных расчетов. В нем обработка 10^6 пикселей занимает время порядка 5–6 мин.

Будет продемонстрировано сравнение данных, восстановленных по алгоритмам ART и FAR, с результатами других известных алгоритмов (MERIS ESA, MERIS BAER, MODIS NASA, etc.) и с измерениями в сети Aeronet. Восстановление проводилось по данным измерений MERIS в безоблачном районе центральной Европы (от 490 до 530° северной широты и от 70 до 120° восточной долготы, в основном Германия) 13 октября 2006 года.

Аморфное и кристаллическое состояния аэрозолей: влияние структуры на фазовые превращения и процессы влажного роста

Михайлов Е.Ф. (Eugene.Mikhailov@paloma.spbu.ru), Власенко С.С.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В настоящей работе обсуждается гипотеза о влиянии фазового состояния исходных частиц и их размера на процессы влажного роста. Анализируются причины, вызывающие обратимый и непрерывный гигроскопический рост некоторых видов атмосферных частиц. Приводятся данные измерений влажного роста/испарения частиц субмикронного диапазона размеров, выполненные с помощью тандема дифференциальных анализаторов подвижности. Показано существенное отличие гигроскопических свойств (органических и неорганических) частиц субмикронной фракции от данных модельных расчетов, в основе которых лежат результаты измерений эквивалентных по составу макрообъемных систем.

На основе анализа литературных источников и результатов измерений, выполненных авторами работы, высказывается гипотеза о возможности образования частиц как с аморфной, так и с кристаллической структурой. Это различие в фазовом составе частиц приводит к различным закономерностям поглощения/испарения водяного пара. Обсуждаются возможные механизмы образования частиц с аморфной структурой и необходимость их учета в модельных расчетах аэрозольного форсинга.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 09-05-00883-а и целевых программ Миннауки РФ АВЦП 1138 и АВЦП 3846.

О возможности параметризации основных радиационных характеристик облачных слоев смешанного фазового состава

Петрушин А.Г. (petrushin-2005@mail.ru)

Институт атомной энергетики, Студгородок 1, Обнинск, Россия

Рассмотрены основные оптические характеристики рассеяния излучения в облаках смешанного фазового состава (средний косинус индикатрисы рассеяния, факторы и показатели эффективности ослабления, рассеяния и поглощения излучения) для отдельных длин волн в диапазоне от 0.6 до 12.0 мкм. При теоретическом изучении использовалась модель смешанного облака, содержащего ледяные кристаллы и водяные капли, равномерно перемешанные по объему [1]. Расчеты характеристик рассеянного излучения для кристаллической фракции смешанного облака проведены с помощью приближенных методов [2, 3], разработанных нами ранее для расчетов характеристик рассеяния излучения на частицах с размерами, превышающими длину волны падающего излучения, а для капельной фракции этого облака – по методике, полученной с использованием известной теории Ми-Лоренца [4]. Величины комплексного показателя преломления льда взяты из работы [5], комплексного показателя преломления воды – из [6].

На основе проделанных расчетов получена детальная параметризация вышеуказанных характеристик в зависимости от средней температуры облачного слоя T , средних размеров облачных частиц различных форм и отношения их концентраций. Параметризация оптических характеристик рассеяния излучения элементарным объемом облачной среды

была проведена в зависимости только от T с использованием отдельных экспериментальных данных о возможных размерах ледяных частиц и их концентраций при некоторых температурах. С использованием рассчитанных оптических характеристик смешанных облаков выполнена оценка их влияния на основные радиационные характеристики (альbedo облачного слоя, коэффициент пропускания). Указанные радиационные характеристики определялись с помощью приближения дельта-Эддингтона [7]. Рассматривались оптические слои с толщинами менее 10 и зенитными углами солнца менее 45 градусов.

Расчеты показывают, что для рассмотренных длин волн падающего излучения при фиксированных значениях средней температуры облачного слоя смешанного фазового состава и его оптической толщины возможный разброс величин альbedo слоя может в среднем достигать порядка 40 %. Уменьшение указанного разброса и, соответственно, получение с относительно высокой точностью параметризации радиационных характеристик облачных слоев с известными оптическими толщинами как функции средней температуры при определенных условиях наблюдения возможны только при получении надежных экспериментальных данных о температурной зависимости средних размеров облачных частиц различных форм и их концентраций.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, грант № 07-05-00979.

1. Петрушин А.Г. Рассеяние и поглощение оптического излучения в кристаллической облачной среде. *Вопросы физики облаков*. Ред. Семенов Л.П. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1998, 118–149.
2. Petrushin A.G. Main optical characteristics of light scattering by mixed-phase clouds. *Izv., Atm. Oceanic Physics*, 2001, **37**, 149–156.
3. Петрушин А.Г. Средний косинус индикатрисы рассеяния оптического излучения в смешанных облаках. *Изв. РАН, ФАО*, 2007, **43**, 4, 133–139.
4. Ван де Хюлст. *Рассеяние света малыми частицами*. М.: Иностр. лит. 1961, 536 с.
5. Warren S.G. Optical constants of ice from ultraviolet to the microwave. *Appl. Opt.*, 1984, **23**, 8, 1206–1225.
6. Pincley L.W., Sethna P.P., Williams D. Optical constants of water in the infrared: influence of temperature. *JOSA*, 1977, **67**, 4, 494–499.
7. Joseph J.H., Wiskombe W.J. The delta - Eddington approximation for radiative flux transfer. *J. Atm.Sci.*, 1976, **33**, 12, 2452–2459.

Фотофорез стратосферного аэрозоля: результаты для усовершенствованной радиационной модели

Береснев С.А. (sergey.beresnev@usu.ru), Кочнева Л.Б., Грязин В.И.

Уральский государственный университет им. А.М. Горького, пр. Ленина 51, 620083 Екатеринбург, Россия

Одним из возможных механизмов вертикального переноса поглощающих излучение частиц в стратосфере может являться радиометрический фотофорез. Ранее авторами было показано [1], что для определенных типов хорошо поглощающих излучение сажевых частиц так называемый отрицательный «солнечный» фотофорез (движение частиц в поле коротковолнового солнечного излучения против силы тяжести) и положительный «тепловой» фотофорез (движение частиц в поле уходящего теплового излучения Земли) могут приводить к вертикальному движению и даже левитации субмикронных и микронных частиц на определенных высотах в нижней и средней стратосфере в предположении стационарной атмосферы. Данный механизм достаточно эффективен для легких и слаботеплопроводных компактных и фрактало-подобных частиц (например, для частиц сажи и вулканических аэрозолей). Более того, радиометрический фотофорез является регулярным и постоянно действующим фактором вертикального движения аэрозолей на синоптическом и глобальном временных масштабах. В термически и механически устойчивой стратосфере данный долговременный механизм переноса аэрозолей может приводить к неожиданному и неконтролируемому накоплению сажевых частиц от авиатранспорта и процессов сжигания биомассы.

В данном докладе представлена усовершенствованная модель радиометрического фотофореза атмосферных аэрозолей. Во-первых, в расчетах высотных профилей для интенсивностей коротковолнового солнечного излучения используется известная модель ИОА СО РАН [2] для различных широтно-сезонных ситуаций. Во-вторых, в характеристиках «теплового» фотофореза учтено действие нисходящих потоков длинноволновой радиации в рамках вычислительной модели FIRE-ARMS [3]. В-третьих, представлена попытка обобщения модели для фрактало-подобных частиц путем введения газо-кинетического и фотофоретического факторов формы. Проведено сопоставление эффективностей фотофоретического переноса и переноса частиц под действием вертикального стратосферного ветра. Обсуждаются известные наблюдательные данные, которые могут свидетельствовать о проявлении исследуемого эффекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 09-01-00649 и № 09-01-00474) и Минобрнауки России (программа «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)», рег. № 2.1.1/6019).

1. Береснев С.А., Кочнева Л.Б., Суетин П.Е. Фотофорез аэрозолей в атмосфере Земли. *Теплофизика и аэромеханика*, 2003, **10**, 2, 297–311.
2. Журавлева Т.Б., Фирсов К.М. Алгоритмы расчетов спектральных потоков солнечной радиации в облачной и безоблачной атмосфере. *Оптика атмосферы и океана*, 2004, **17**, 11, 903–911.
3. Грибанов К.Г., Захаров В.И., Ташкун С.А. Пакет программ FIRE-ARMS и его применение в задачах пассивного ИК-зондирования атмосферы. *Оптика атмосферы и океана*, 1999, **12**, 4, 372–375.

Об угловых (по зенитному углу) распределениях флуктуаций радиационной температуры мощных кучевых (Cb) облаков в диапазоне 8–13 мкм, полученных по трехмерным изображениям

Артюхов А.В., Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.ru), Новиков Н.Н., Третьяков Н.Д.
НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

В докладе представляются предварительные результаты углового (по зенитному углу θ) распределения собственного излучения мощных кучевых (Cb) облаков в диапазоне 8–13 мкм, зарегистрированных при помощи автоматизированной сканирующей системы [1], позволяющей получать изображение полусферы неба с угловым разрешением по азимутальному углу α около 30 минут дуги и по зенитному углу θ от десятков минут до единиц градусов.

Характерной особенностью сечений этих облаков, полученных по нижней границе облаков, является равномерное распределение по азимуту с флуктуациями радиационной температуры T_{rad} не более 1–2 К. При увеличении зенитного угла заметна тенденция возрастания флуктуаций T_{rad} по азимуту. Радиационная температура между нижней и верхней границами изменяется до 30–50 К. Обнаружен весьма интересный факт, когда в визуальной (видимой) области спектра не наблюдается просвета, внутри облака в диапазоне 8–13 мкм он четко проявляется.

В докладе представляются изображения и отдельные сечения полей собственного излучения Cb облаков по азимутальным и зенитным углам. Обнаружены флуктуации радиационной температуры до 2 К вблизи облаков на фоне безоблачного неба, о чем сообщалось в [2].

1. Алленов М.И., В.Н. Иванов, Н.Д. Третьяков. Устройство распознавания форм облачности: *Патент на изобретение* №2331853 Россия, G01J 3/06 / - Оpubл. 20.08.2008, бюлл. № 23.
2. Алленов М.И., Иванов В.Н., Радионов В.Ф., Третьяков Н.Д. Комплексные исследования пространственной структуры полей излучения неба в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах спектра. В сб. тез. Международ. симпоз. «Физика атмосферы: наука и образование», СПб., 2007, 70–72.

Противоизлучение неба при смешанных формах облачности в диапазоне 8–13 мкм

Артюхов А.В., Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.ru), Кондратюк В.И., Третьяков Н.Д.,
Третьяков Д.Н.

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

В докладе представляются результаты исследования пространственно-временных структур собственного излучения слоистых (St), высоко-слоистых (As), перисто-слоистых (Cs) и смешанных форм облачности в диапазоне 8–13 мкм, полученные при помощи автоматизированной сканирующей системы параметризации и распознавания форм облачности (АСПРФО), защищенной Патентом России на изобретение [1]. АСПРФО регистрирует полусферическое излучение облачного неба в виде изображения с перестраиваемым пространственным разрешением как днем, так и ночью.

Показано, что полусферическая энергетическая яркость (ПЭЯ) St в весенне-осенний период изменяется в интервале $(3.1\text{--}3.7) \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$. Радиационная температура $T_{\text{рад}}$ St отличается от приземной на $3\text{--}11^\circ$, дисперсия ПЭЯ St не превышает $(2\text{--}3) \cdot 10^{-10} (\text{Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1})^2$.

Средние значения ПЭЯ высоко-слоистых (As) облаков в весенне-осенний период изменяется в интервале $(1.2\text{--}1.8) \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$, дисперсия достигает значений $(8\text{--}11) \cdot 10^{-10} (\text{Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1})^2$. В структурах высокослоистых просвечивающихся облаков As trans наблюдаются оптические неоднородности от 3 до 15 угловых градусов. Причем поля неоднородностей иногда имеют волнистые структуры, но чаще стохастически распределенные в пространстве.

Вариации ПЭЯ Cs весьма значительны и изменяются от $0.6 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$ до $1.3 \cdot 10^{-4} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$. $T_{\text{рад}}$ изменяется от 200 до 240 К. Это означает, что коэффициент излучения Cs может изменяться в более широких пределах, чем приведенный (0.2–0.3) в [2].

В смешанных формах кучевых (Cu) (3–4 балла) и высококучевых Ac (7 баллов) ПЭЯ в основном связана с пространственной структурой кучевой облачности и достигает около 95–96 % (сравнение приведено с «чистой» одноярусной облачностью [3]), вклад Ac в суммарную ПЭЯ $(2.1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1})$ составляет чуть больше 4 %.

Заметная доля влияния в снижении дисперсии флуктуаций ПЭЯ принадлежит высококучевой облачности. Она значительно изменяет поведение спектральной плотности флуктуаций ПЭЯ. Спектр распределения дисперсий флуктуаций ПЭЯ по пространственным частотам, определенный для «чистой» Cu, выражается как $\sigma^2(\omega_4) \sigma^{-S}$ [3] (где $\sigma^2(\omega_4)$ – дисперсия флуктуаций ПЭЯ на пространственной частоте $\omega_4 = 4/\text{рад}$, $S \approx 2$; для смешанной облачности S снижается до 1.8), что в задачах параметризации форм облачности может служить дополнительным критерием к признакам распознавания.

Для смешанных форм слоисто-кучевой Sc и высококучевой Ac облачности наблюдаются как сходства с Ac+Cu некоторых статистических характеристик ПЭЯ и распределений ПЭЯ по полю облачности, так и их различия, например, снижение коэффициентов взаимной корреляции $R(\theta_n, \theta_m)$ по сечениям полей облачности по зенитному углу θ при постоянном азимутальном угле α (здесь m, n – номера сечений полусферического изображения облачных полей в диапазоне 8–13 мкм).

В докладе приводятся результаты параметризации полей и других смешанных форм облачностей, полученных по многочисленным (более 100) полусферическим изображениям собственного излучения.

1. Алленов М.И., В.Н. Иванов, Н.Д. Третьяков. Устройство распознавания форм облачности: Патент на изобретение №2331853 Россия, G01J 3/06 / - Оpubл. 20.08.2008, бюлл. № 23.
2. Кондратьев К.Я. *Лучистый теплообмен в атмосфере*. – Л.: Гидрометеиздат, 1956, 420 с.
3. Алленов А.М., Алленов М.И., Иванов В.Н., Соловьев В.А. *Стохастическая структура излучения облачности*. – СПб: Гидрометеиздат, 2000, 174 с.

Ослабление светового излучения в облачной атмосфере

Осипов В.М. (v.osipov@list.ru), Борисова Н.Ф.
ФГУП НИИКИ ОЭП, 188540 Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

В различных задачах оптики атмосферы необходимо учитывать ослабление светового излучения на атмосферных трассах. При их решении, наряду с получившими большое распространение методами прямого расчета (line-by-line), продолжают использоваться и различные методы приближенных расчетов, в которых функция пропускания атмосферы рассчитывается с использованием эмпирических выражений либо модельных представлений о тонкой структуре полос поглощения атмосферных газов. Промежуточное положение между двумя этими подходами занимает метод на основе адаптивной модели полосы поглощения [1], в котором и тип модели, и ее параметры не подгоняются, а вычисляются на основе данных о параметрах линий в каждой конкретной спектральной области. Преимущества данного метода заключаются в высокой скорости и хорошей точности расчета (сравнимой с точностью метода line by line), что было показано сопоставлениями с результатами прямых расчетов [2].

В данном докладе представлены результаты работ по дальнейшему развитию данного метода, позволившими учесть ослабление излучения в различных типах облачности. В качестве основных моделей облачного слоя выбраны следующие пять наиболее простых и часто встречающихся типов (случаи многослойной облачности не рассматривались): 1) Cumulus, 2) Stratus/Stratocumulus, 3) Nimbostratus, 4) Altostratus/Altostratus, 5) Cirrus. Данные по пространственным и оптическим характеристикам этих типов облаков заданы в соответствии с результатами экспериментальных измерений, выполненных в СССР и опубликованных в работе [3] (за исключением облачности типа 1, поскольку систематические полеты самолетов-зондировщиков в кучевой облачности не проводились). Высотный ход коэффициента ослабления для моделей № 2–5 рассчитан с использованием эмпирического выражения, приведенного в [3]. Для кучевой облачности использовались расчетные значения характеристик, полученные с использованием [4]. К сожалению, крайне ограничены экспериментальные данные о спектральной зависимости коэффициентов ослабления в различных типах облачности. Поэтому спектральная зависимость коэффициента ослабления различных типов облаков была рассчитана в приближении однократного рассеяния с использованием теории Ми и параметров функции распределения облачных частиц по размерам, представленных в [4].

Организованный таким образом блок ослабления в облачности был включен в общий алгоритм расчета ослабления радиации на неоднородных атмосферных трассах. Алгоритм позволяет изменять мощность облачного слоя.

1. Осипов В.М. Быстрый метод расчета спектральных функций пропускания для неоднородных атмосферных трасс. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1987, 23, 2, 140–147.
2. Бедрин А.Г., Борисова Н.Ф., Осипов В.М., Роговцев П.Н. База данных АО СИВИ - Атмосферное Ослабление Светового Излучения Высокотемпературного Источника. Межд. симпозиум «Атмосферная радиация», 2006, сб. тезисов, С.-Петербург, СПбГУ, с.80–81.
3. *Облака и облачная атмосфера*. Справочник. Под ред. Мазина И.П., Хргиана А.Х. Ленинград, Гидрометеиздат, 1989.
4. Kneizys F.X., Abreu L.W., Anderson G.P. *The MODTRAN 2/3 Report and LOWTRAN 7 Model*. PL/GPOS, Hansom AFB, MA 0173-3010, Contract F19628-91-C-0132, 1996, 260 pp.

Несферические неоднородные модели рассеивающих частиц

Ильин В.Б. (ilin55@yandex.ru)

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Бол. Морская 69, 190000 Санкт-Петербург, Россия
Главная астрономическая обсерватория РАН, Пулковское шоссе 65/1, 196140 Санкт-Петербург, Россия
Санкт-Петербургский государственный университет, Университетский пр. 28, 198504 Санкт-Петербург, Россия*

Фарафонов В.Г., Винокуров А.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Бол. Морская 69, 190000 Санкт-Петербург, Россия*

Завьялов Н.Н., Воцинников Н.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Университетский пр. 28, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Фарафонов Вяч.Г.

Вятский государственный университет, пл. Конституции 2, 610000 Киров, Россия

Рассеивающие частицы в дисперсных средах часто являются не только несферическими, но и неоднородными. Для совершенствования диагностики таких сред оптическими методами полезно иметь численное решение проблемы рассеяния света модельными рассеивателями, т.е. частицами упрощенной формы и структуры. Развитие теории рассеяния света и вычислительных возможностей привело к тому, что сегодня имеется достаточно широкий набор теоретических методов, позволяющий рассчитывать оптические свойства однородных несферических частиц практически любых размеров (пока для рассеивателей сравнительно простых форм).

Между тем, учет структуры рассеивающих частиц ограничивается рассмотрением лишь следующих трех моделей:

1. Частицы с равномерно распределенными очень маленькими включениями разных веществ. Здесь используется приближение эффективной среды, дающее некий средний показатель преломления для неоднородной частицы, и методы светорассеяния для однородных частиц. Такой подход позволяет производить очень быстрые расчеты.

2. Частицы с одним или несколькими большими включениями. Для них применяются достаточно сложные теоретические подходы, но, по сути, они есть частный случай следующей модели.

3. Агрегаты, составленные тем или иным образом из субчастиц. При моделировании светорассеяния используется в основном метод дискретных диполей, где каждая субчастица описывается одним или несколькими диполями. Расчеты весьма трудоемки, и не всегда возможны даже для современных больших компьютеров.

Мы предлагаем еще одну модель неоднородных несферических рассеивателей в виде слоистых частиц, в которых рассматривается очень большое число очень тонких слоев из циклически повторяющихся веществ. Такая модель вычислительно почти также быстра, как и первая из вышерассмотренных, но принципиально от нее отличается. Использование обеих моделей позволяет быстро выявлять возможные оптические эффекты структуры рассеивателей.

В основе нашей модели лежат специально развитые методы теории рассеяния света, например, для многослойных несферических (осесимметричных) частиц – метод разделения переменных, использующий сферический базис; для сфероидов с софокусными слоями – метод расширенных граничных условий со сфероидальным базисом. Благодаря этому созданные программы позволяют рассматривать как рассеиватели умеренной асферичности, но сложной формы, так и сфероидальные частицы с очень большим отношением полуосей.

Модель была успешно применена для изучения эффектов формы и структуры космических пылинок. В частности, было найдено, что поляризующая способность несферических частиц (отношение степени линейной поляризации к поглощению прямо

прошедшего излучения) очень сильно зависит от их структуры. Поляризационные профили полос поглощения также могут существенно меняться при вариации структуры пылинок, причем профили поглощения могут оставаться практически неизменными. Изучалось также влияние структуры пылевых частиц на их температуру, индикатрису и другие характеристики. В целом эффекты структуры оказались наиболее существенны для сильно пористых пылинок.

Влияние вариаций содержания газовых компонент атмосферы и микрофизических свойств облаков на радиационную энергетику системы Земля-атмосфера в длинноволновой области спектра

Харин А.С., Дмитриева-Аппаго Л.Р. (dmitrieva@mecom.ru), Шатунова М.В.

Гидрометеоцентр России, Бол. Предтеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия

В исследованиях использован метод расчета потоков длинноволнового излучения, основанный на двухпоточковом приближении решения уравнения переноса излучения. Для учета газового поглощения использован метод, разработанный Е.В. Розановым и В.А. Фролькисом на основе статистической модели полосы поглощения Гуди с учетом зависимости параметров функции пропускания от температуры. С учетом того, что расчет радиационных характеристик в моделях прогноза погоды основан на приближенно рассчитанном содержании газовых компонент атмосферы, были проведены численные эксперименты для оценки влияния изменений содержания газовых компонент на потоки излучения и радиационные изменения температуры в отдельных слоях атмосферы. В качестве исходных данных были использованы модели атмосферы: тропические широты, лето средних широт, субарктическая зима.

Были проведены эксперименты при вариациях содержания водяного пара на 10–30 % в разных широтных зонах. Эксперименты показали, что радиационные изменения температуры находятся в пределах нескольких десятых К/сут. При увеличении содержания озона на 20 % радиационные изменения температуры в верхних слоях атмосферы проявились в большей степени в тропических широтах. Радиационные изменения температуры оказались заметными и составили примерно 50 % от исходного значения. Из этого результата следует, что весьма важно учитывать изменение концентрации озона в различных точках области прогноза, поскольку концентрация озона имеет широтный и годовой ход. В связи с важностью вариаций концентрации CO_2 в задачах изучения климатических изменений был рассмотрен диапазон изменения содержания CO_2 от 300 ppm до 600 ppm. При этом оказалось, что увеличение нисходящего потока на подстилающую поверхность составляет от 5 до 10 Вт/м² для моделей атмосферы, соответствующих разным широтным зонам.

В численных экспериментах по влиянию микрофизических характеристик облаков был использован метод расчета коэффициентов поглощения излучения, предложенный К.С. Шифриным, в котором необходима информация о параметре функции распределения частиц облака по размерам, водности облака и среднем радиусе распределения частиц. Эксперименты были выполнены для водяных облаков нижнего и среднего яруса, имеющих водность в интервале от 0.03 г/м³ до 0.3 г/м³ при среднем радиусе 6 мкм. В результате численных экспериментов оказалось, что изменение нисходящего потока длинноволнового излучения в подоблачном слое вблизи подстилающей поверхности при переходе от безоблачных условий составляет 40–60 Вт/м² при малых водностях. Эти изменения имеют место при значениях водности до 0.1 г/м³. При дальнейшем увеличении водности различия с безоблачными условиями не меняются. Таким образом, эти эксперименты показывают, что облако нижнего яруса оказывает утепляющее воздействие на подоблачный слой и на подстилающую поверхность, и большое значение имеет точность определения водности.

Для облаков среднего яруса различия в потоках в подоблачном слое по сравнению с безоблачными условиями несколько меньше и находятся в пределах $30\text{--}50 \text{ Вт/м}^2$, при водностях меньших или равных 0.1 г/м^3 . Дальнейшее увеличение водности облака среднего яруса не влияет на указанную выше разность. Таким образом, оказывается, что облако среднего яруса также оказывает утепляющее воздействие на подоблачный слой и на подстилающую поверхность.

Из анализа радиационных изменений температуры в облачных слоях следует, что наибольшие изменения радиационного выхолаживания по сравнению с безоблачными условиями в пределах $7\text{--}8 \text{ К/сут}$ отмечены при значениях водности до 0.1 г/м^3 . Исследована зависимость радиационных изменений температуры от среднего радиуса распределения частиц в интервале $3\text{--}9 \text{ мкм}$. Оказалось, что при увеличении радиуса радиационные изменения уменьшаются.

Аналогичные эксперименты были выполнены для смешанной и кристаллической облачности. Оказалось, что выхолаживание слоев атмосферы, содержащих смешанные и кристаллические облака, значительно меньше, чем при капельных облаках и лежит в пределах $2\text{--}3 \text{ К/сут}$ в зависимости от величины ледности и водности капельной части облаков.

1. Кондратьев К.Я. *Лучистый теплообмен в атмосфере*. Л.: Гидрометеиздат, 1956.
2. Розанов Е.В., Тимофеев Ю.М., Фролькис В.А. Влияние некоторых малых составляющих на радиационный режим атмосферы в инфракрасном диапазоне. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1981, 17, 4, 384–391.
3. Шифрин К.С. О вычислении радиационных свойств облаков. *Труды ГГО*, 1955, вып. 46(108), 5–33.
4. Фейгельсон Е.М. *Лучистый теплообмен и облака*. Л.: Гидрометеиздат, 1970.

Дифференциальный метод анализа гигроскопических свойств осажденных на фильтр аэрозолей

Михайлов Е.Ф. (Eugene.Mikhailov@paloma.spbu.ru), Власенко С.С., Меркулов В.В.,
Рышкевич Т.И.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В ряду первоочередных направлений исследований, ориентированных на решение климатических и экологических задач, проблема изучения конденсационных свойств атмосферных частиц относится к числу приоритетных. Изменение влажного диаметра, способность служить облачными и ледяными ядрами конденсации, а также процессы влажного стока из атмосферы напрямую зависят от гидрофильных свойств частиц. Отличительная особенность атмосферных аэрозолей состоит в том, что наряду с химическим составом, на их взаимодействие с водяным паром, включая адсорбцию и фазовые переходы, существенное влияние оказывает микроструктура и поверхностные свойства. Недостаточная изученность этих факторов служит причиной неоднозначной интерпретации результатов натурных и лабораторных измерений и, как следствие, порождает большой разброс в оценках климатического эффекта атмосферного аэрозоля. Во многом эта проблема обусловлена трудностями измерений гигроскопического роста атмосферных аэрозолей.

В данной работе предлагается высокочувствительный метод для изучения процессов взаимодействия водяного пара с аэрозольными частицами, осажденными на фильтр. В зависимости от природы исследуемых частиц и относительной влажности захват молекул воды может осуществляться путем различных механизмов. Основными из них является поверхностная адсорбция, капиллярная конденсация и объемное поглощение. Последний механизм приводит к частичному или полному растворению твердой фазы, т. е. к фазовым переходам. Предлагаемый метод позволяет исследовать все указанные механизмы. Физически он основан на измерении разности концентраций водяного пара в газовых каналах, один из которых содержит фильтр с аэрозолем, а второй – такой же чистый фильтр. В качестве детектора используется прецизионный катарометр (детектор по

теплопроводности). Применение дифференциального принципа, позволяет исследовать гигроскопические свойства частиц с осажденной массой, не превышающей 0.06 мг. По данным измерений могут быть получены следующие параметры, характеризующие гигроскопические свойства аэрозолей:

- масса поглощенной воды и фактор роста частиц в зависимости от относительной влажности среды;
- концентрации компонентов в конденсированной фазе, включая область пересыщенных растворов;
- относительные влажности (активности) фазовых переходов твердое тело-раствор (гидратационная ветвь) и раствор-твердое тело (дегидратационная ветвь);
- активности компонентов конденсированной фазы (на основе соотношения Гиббса-Дюгема);
- коэффициенты активности воды и растворенных веществ (массовые, молярные, моляльные).

То обстоятельство, что метод разработан для фильтровых проб аэрозоля, открывает широкие перспективы для его использования в натурных аэрозольных измерениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Миннауки РФ (АВЦП 1138 и АВЦП 3846) и РФФИ, грант № 09-05-00883-а

Комплексное исследование характеристик кучево-дождевого облака, развивавшегося над Аравийском полуостровом в условиях большого дефицита точки росы в атмосфере и анализ данных спутника Метеосат

Краус Т.В., Синькевич А.А. (sinkev@main.mgo.rssi.ru), Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А.,
Макитов В.С., Степаненко В.Д.

*Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, ул. Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург,
Россия*

Анализируется развитие долгоживущего кучево-дождевого облака (Cb) в пустынной части Саудовской Аравии 10 апреля 2008 г. Непрерывные спутниковые и радиолокационные наблюдения за облаком проводились в течение 5 часов. Выполнено численное моделирование облака с использованием нестационарной полуторамерной модели. Получены данные о динамике развития Cb и его наковальни.

Показано, что характеристики наковальни существенно различны в зоне ее формирования непосредственно над облаком и по мере удаления от облака. Установлено, что радиолокатор существенно недооценивает горизонтальные размеры наковальни. Выполнена оценка интенсивности осадков из исследуемого облака с использованием спутниковых и радиолокационных измерений, осуществлено сравнение с результатами численного моделирования. Получено, что интенсивность осадков могла достигать 100 мм/час. При этом радиолокационные оценки интенсивности осадков заметно завышают их, что в данном случае было связано с наличием крупных градовых частиц.

СЕКЦИЯ 5. РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ И РАДИАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ В МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА

Председатель: д.ф.-м.н. **О.М. Покровский**, (ГГО, СПб)

Сопредседатели: член-корр. РАН **И.И. Мохов** (ИФА РАН, Москва),
д.ф.-м.н. **Н.Е. Чубарова** (МГУ, Москва), к.ф.-м.н. **П.В. Спорышев**
(ГГО, СПб), д.ф.-м.н. **Л.Р. Дмитриева** (Гидрометцентр, Москва),
д.ф.-м.н. **Б.А. Фомин** (ЦАО, Москва)

Тенденции многолетней изменчивости радиационного баланса, его составляющих и факторов, определяющих их изменчивость, в Москве

Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru), Абакумова Г.М.

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак-т, Воробьёвы Горы, 119992
Москва, Россия*

Изучение многолетней изменчивости радиационного баланса подстилающей поверхности (B), его составляющих и основных факторов, влияющих на их изменчивость, представляет большой интерес. B , являясь основным климатообразующим фактором, существенно зависит от процессов, происходящих в климатической системе. Для оценки трендов временные ряды метеорологических и радиационных параметров, полученные по данным многолетних наблюдений Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ), аппроксимировались линейными или полиномиальными уравнениями.

За 50 лет (с 1958 по 2007 г.) отмечается тенденция к уменьшению суммарной Q , рассеянной D , отражённой R_k радиации и тенденция к увеличению прямой S' , поглощённой B_k радиации, эффективного излучения E и радиационного баланса B . Тренд статистически значим для D , R_k , E и B .

Основной причиной отрицательного тренда суммарной радиации (2 %) является увеличение облачности. Количество общей облачности увеличилось на 9.6 % (0.7 балла), нижней – на 10.9 % (0.6 балла). Существенная, статистически значимая, тенденция к уменьшению (на 16 %) годовых сумм отражённой солнечной радиации обусловлена, в основном, неустойчивостью отражательных свойств (альбедо) снежного покрова зимой, его более ранним таянием и сходом весной в последние годы. Для средних годовых значений альбедо отмечается статистически значимая тенденция к уменьшению (на 15 %). Уменьшение отражательных свойств подстилающей поверхности обусловлено, с одной стороны, уменьшением прихода солнечной радиации, с другой стороны, наблюдающейся тенденцией к повышению температуры воздуха и почвы. По данным МО МГУ статистически значимый положительный линейный тренд средних годовых значений температуры воздуха за 1958–2007 гг. составил 1.9°C. Следствием уменьшения отражённой радиации (несмотря на уменьшение приходящей радиации) является статистически незначимая тенденция к увеличению (на 3 %) поглощённой радиации (B_k). Увеличение общего влагосодержания атмосферы (9 %) и облачности привело к увеличению противоизлучения атмосферы и уменьшению (по модулю) эффективного излучения земной поверхности (6 %).

В летние месяцы, когда основной составляющей в радиационном балансе является Q , отмечается значимая отрицательная связь B с баллом общей облачности и влагосодержанием атмосферы. В зимние месяцы, за счет увеличения противоизлучения атмосферы по величине и по роли в общем балансе, эта связь становится положительной. Зависимость B от альбедо подстилающей поверхности отмечается только в месяцы установления и схода снежного покрова. Значимая связь B и температуры почвы и воздуха велика и положительна во все месяцы года, кроме апреля, что может быть связано с большей ролью адвективных процессов в этот месяц и основным их влиянием на формирование температурного режима. Относительная величина тренда годовых сумм B составляет около 15 %. Резкая тенденция к

увеличению B (на 64 %, 1994–2007 гг.) начала отмечаться с середины 90-х годов прошлого столетия. Наиболее сильно эти тенденции для всех составляющих радиационного баланса проявляются зимой и в месяцы установления и схода снежного покрова.

В целом за весь период наблюдений наблюдались следующие наибольшие и наименьшие годовые значения поглощенной радиации, эффективного излучения и радиационного баланса:

B_k : 3164 МДж/м² (2002 г.) и 2484 МДж/м² (1962 г.);

E : – 1210 МДж/м² (2004 г.) и – 1726 МДж/м² (1967 г.);

B : 1629 МДж/м² (2007 г.) и 1117 МДж/м² (1980 г.).

Первые результаты измерений длинноволнового излучения атмосферы в Москве по данным метеорологической обсерватории МГУ

Незваль Е.И. (einezval@mail.ru), Чубарова Н.Е.

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак-т, Воробьевы Горы, 119992
Москва, Россия*

Groeбner J.

Institute for Atmospheric and Climate Science, Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland

Ohmura A.

Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, World Radiation Center, Switzerland

Баланс длинноволновых потоков радиации – собственного излучения Земли и встречного излучения атмосферы – играет важную роль в энергетическом бюджете системы Земля-атмосфера. Начиная с апреля 2008 года, в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) ведется непрерывная регистрация длинноволнового излучения атмосферы (ДИА) в диапазоне длин волн 3.5–50 мкм с помощью прецизионного инфракрасного радиометра (пиргеометра Эппли) модели PIR. Прибор был дополнительно тестирован и откалиброван в Физико-метеорологической обсерватории в Давосе путем сопоставления с группой инфракрасных радиометров при различных условиях в ночное время. При определении калибровочных коэффициентов учитывалась также температура прибора и его полусферы. Регистрация ДИА в МО МГУ осуществляется с минутным разрешением с помощью аппаратно-программного комплекса SUN, работающего в МО МГУ с 1994 года.

За период с апреля по декабрь 2008 года средние за месяц значения ДИА изменялись в пределах 70 Вт/м² – от 290 Вт/м² в декабре до 360 Вт/м² в июле и августе. Суточный ход длинноволнового излучения выражен незначительно и составляет порядка 8 % летом и 2 % зимой. Максимум ДИА наблюдается после полудня в 14–17 часов по солнечному времени, а минимум – во второй половине ночи или утром. Рассмотрена связь ДИА с различными параметрами атмосферы. На основании параллельных измерений по пиргеометру и солнечному фотометру CIMEL получена тесная связь между длинноволновым излучением атмосферы и содержанием водяного пара в столбе атмосферы ($R_2 = 0.8$). Отметим, что данная связь получена для условий относительно малооблачной погоды, когда возможно проведение измерений по данным CIMEL. Для этих же условий получена зависимость ДИА от приземной температуры воздуха ($R_2 = 0.84$). Прослеживается также тенденция к росту ДИА с увеличением аэрозольной оптической толщины на длине волны 500 нм ($R_2 = 0.33$), которая возникает, вероятно опосредованно, за счет связи аэрозольных характеристик с воздушными массами.

Всемирное потемнение/осветление и прозрачность толщи атмосферы, 1906–2007

Окулов О.¹ (oleg.okulov@emhi.ee), Охвирль Х.², Тераль Х.², Нейман Л.², Каннель М.², Уустаре М.², Тее М.², Руссак В.³, Йыевезер А.¹, Каллис А.¹, Охвирль Т.⁴, Терез Э.И.⁵, Терез Г.А.⁶, Гушин Г.К.⁷, Абакумова Г.М.⁸, Горбаренко Е.В.⁸, Цветков А.В.⁹, Лаулайнен Н.¹⁰

¹Эстонский Институт Метеорологии и Гидрологии, ул Нарвская 108, 49604 Муствеэ, Эстония

²Тартуский Университет, Тарту, Эстония

³Тартуская обсерватория, Тыравере, Эстония

⁴Университет биологических наук Эстонии, Тарту, Эстония

⁵Крымская астрофизическая обсерватория, Украина, Крым

⁶Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина

⁷Карадагская научно-исследовательская геофизическая обсерватория, Феодосия, Украина

⁸Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁹Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

¹⁰Тихоокеанская Северо-Западная Национальная Лаборатория, Ричлэнд, США

Многолетние колебания прозрачности толщи атмосферы, полученные из измерений прямой интегральной солнечной радиации, позволяют нам оценивать тенденции климатических изменений. В данной работе основным исследуемым параметром является Интегральный Коэффициент Прозрачности Атмосферы, приведенный к высоте Солнца 30° — ИКПА p_2 . Поскольку из ИКПА p_2 возможно легко получить не только другие интегральные параметры прозрачности/мутности толщи атмосферы, но и спектральную Аэрозольную Оптическую Толщину (АОТ), а также вернуться к исходным значениям прямой радиации, то ИКПА p_2 может рассматриваться как полезный инструмент в климатологических исследованиях чистоты атмосферы.

Мы проанализировали временные ходы ИКПА p_2 для трёх различных европейских климатических зон: бассейна Финского залива (измерения в Павловске, Эстонии (Тийрикоя, Тарту-Тыравере)), Москвы (МО МГУ) и Крыма (Карадаг). Эти ряды, совместно покрывая столетие (1906–2007), демонстрируют схожий характер изменчивости, который в некоторой мере свойственен всему поясу широт 44°–60°N континента. Многолетняя изменчивость прозрачности атмосферы в данном регионе вызвана, в основном, тремя факторами: 1) сильными вулканическими извержениями; 2) антропогенным загрязнением; 3) дымом от сезонных лесных и болотных пожаров, который может иметь как локальный, так и межконтинентальный характер. Изменения прозрачности атмосферы, вызванные этими факторами, мы разделили на пять периодов.

1. Колебания прозрачности атмосферы первых двух десятилетий XX-го столетия оценивались по данным из Павловска. Этот период характеризовался экстремальными значениями ИКПА p_2 . Пиково высокое в 1908 году $p_2 = 0.813$, что означало очень низкие значения тропосферной и стратосферной АОТ, и как следствие, малое количество антропогенных аэрозольных частиц в атмосфере. Абсолютно низкое значение, $p_2 = 0.632$ в 1912 году, вызванное выбросами вулкана Катмай/Новарупта на Аляске.

2. После очищения атмосферы от аэрозольных частиц вулкана Катмай/Новарупта наступил период устойчиво высокой прозрачности атмосферы с 1921 по 1945 гг., что также свидетельствовало о низком антропогенном загрязнении атмосферы.

3. Плавное снижение прозрачности атмосферы в Крыму после Второй мировой войны ясно демонстрирует почти сорокалетний нисходящий тренд прозрачности, началом которого можно считать 1946 г. Плавный тренд заканчивается резким спадом в 1983 г, когда ИКПА $p_2 = 0.667$. Аналогичный ход демонстрирует коэффициент прозрачности в Москве и Эстонии. Одной из причин нисходящего тренда являются семнадцать мощных вулканических извержений в этот период, ответственных за появление аэрозольных частиц в

стратосфере. Однако, учитывая тот факт, что, несмотря на короткие периоды отсутствия вулканических извержений, прозрачность атмосферы не восстанавливалась, справедливо предположить, что за это несет ответственность антропогенный аэрозоль, в основном, в виде сажи и соединений серы (SO_x). Поскольку это подтверждается и статистическими данными об антропогенных выбросах в атмосферу, то мы полагаем, что последующее повышение прозрачности в рассматриваемом регионе обусловлено экологически более чистым производством с конца семидесятых XX-го столетия. К сожалению, эта гипотеза целиком не могла быть проверена, т.к. в последующие годы, 1979–1982, произошло четыре вулканических извержения и прозрачность сильно упала.

4. С 1984/1985 гг. по 1990 г. атмосфера значительно восстановила свою прозрачность, которая почти достигла уровня 1960-х. Этому могли послужить три основные причины: 1) снижение вулканической активности; 2) экологически более чистое производство, 3) миграция некоторых видов производства из Европы в Азию.

5. Второе более радикальное очищение европейской атмосферы, когда прозрачность достигла уровня начала XX века, произошло после рассеивания остатков извержения Пинатубо. Оно обусловлено, видимо, общим снижением промышленного и сельскохозяйственного производства на территории бывшего СССР и Восточной Европы после политических изменений в 1991 г.

Солнечная радиация в Украине в современных условиях

Рыбченко Л.С. (L-Rybchenko@yandex.ru)

Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, пр-т Науки 37, 03028 Киев, Украина

Выполненные в настоящее время диагностические и теоретические исследования свидетельствуют о колебаниях и изменениях климата. Использование моделей не позволяет получить реалистические оценки климатических изменений в региональном масштабе, в том числе и радиационного режима. Для исследования радиационного баланса в современных условиях в Украине актуальным остается анализ эмпирической информации характеристик солнечной радиации и показателей их изменений в условиях регионального климата [1–2]. Накопление данных во второй половине XX столетия и в начале нынешнего позволяет провести рассмотрение колебаний составляющих радиационного баланса за имеющийся период измерений актинометрической сети Госгидромета. Со времени выхода климатического Кадастра Украины за 1961–1990 гг. актинометрические ряды дополнены данными за 1991–2008 гг., которые отличаются от средних значений климатического стандарта.

На базе многолетних наблюдений за составляющими радиационного баланса за 1961–2008 гг. проведено сравнение прямой, рассеянной и суммарной радиации, альбедо и радиационного баланса подстилающей поверхности по двум периодам.

На большей части территории за последние восемнадцать лет произошли значительные колебания составляющих суммарной радиации – прямой и рассеянной. Прямая радиация уменьшилась относительно 1961–1990 гг. зимой в январе, особенно существенно – на 20–40 % – на севере и в центре. В феврале падение радиации было гораздо меньшим и не по всей стране. Весной в марте она снизилась на севере и на северо-западе до 15 %, а в апреле это падение было существенно меньшим. Осенью прямая радиация уменьшилась в сентябре и в октябре на большинстве территории. Увеличение радиации отмечено в конце весны в мае и летом почти по всей стране, а наиболее значительное в июле до 25 %, а также в конце года в ноябре и декабре. За год сумма прямой радиации повсеместно увеличилась. Анализ по отдельным пятилетиям за период 1961–2005 гг. показал, что наименьшие суммы прямой радиации наблюдались в 1976–1980 гг. а наибольшие – в 1961–1965 гг. для всей территории страны. В 2000–2005 гг. для значительной части станций отмечены максимальные суммы

прямой радиации за весь период наблюдений. Рассеянная радиация уменьшилась почти во все месяцы года, но ее уменьшение и колебание относительно стандарта было гораздо меньшим, чем прямой радиации. В результате изменения ее составляющих суммарная радиация уменьшилась в холодный период, больше на севере и западе, а в центре и на юге большую часть года отмечались ее незначительные колебания относительно стандарта 1961–1990 гг.

Альbedo подстилающей поверхности за последнее двадцатилетие увеличилось во все сезоны года по всей территории, больше зимой (до 2–7 %) и меньше (до 1–3 %) в остальные сезоны. Это повышение, очевидно, является результатом взаимодействия состояния подстилающей поверхности и циркуляции атмосферы, которая определяет формирование облачности. В результате изменения его составляющих подвергся колебаниям и радиационный баланс. Во все сезоны года, кроме зимы, радиационный баланс увеличился почти по всей стране.

1. Рибченко Л.С., Ревера Т.О. Сумарна сонячна радіація та альbedo підстильної поверхні в Україні. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 2007, вип 256, 99–111.
2. Рибченко Л.С. Про радіаційний баланс підстильної поверхні в Україні. *Науковий вісник ВІ КНУ*, 2007, вип. 8, 242–250.

Многолетний режим солнечной радиации и температуры на Кольском полуострове

Махоткина Е.Л. (makhotk@main.mgo.rssi.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Шиловцева О.А., Романенко Ф.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак-т, Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

В последнее десятилетие вновь повысился интерес к региональным исследованиям климатических изменений по эмпирическим данным. Обобщенные результаты наблюдений за режимом различных гидрометеорологических характеристик на территории России во второй половине XX века представлены в первом томе опубликованного в 2008 г. Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Установленные в Оценочном докладе закономерности должны дополняться анализом эмпирических данных по отдельным регионам. При этом большой интерес вызывает оценка естественной изменчивости различных параметров в их взаимосвязи.

Для территории Кольского полуострова выполнен анализ многолетних наблюдений за суммарной радиацией и характеристиками прозрачности атмосферы на 7 актинометрических станциях за период с 1961 г. по настоящее время, а также за температурой воздуха на 11 станциях за весь период наблюдений. Оценки изменения климатических характеристик получены путем расчета и анализа линейных трендов. Для временных рядов месячных и годовых значений характеристик интегральной прозрачности атмосферы определены средние за различные периоды и их статистические характеристики, подробно рассмотрен средний для различных периодов годовой ход прозрачности. Проведено сравнение аэрозольной мутности в пунктах с различной антропогенной нагрузкой. Рассмотрена многолетняя изменчивость годовых значений прозрачности и их аномалий, рассчитаны линейные тренды временных рядов.

Проанализирован многолетний ход среднегодовых, сезонных и месячных температур воздуха на станциях на побережье Баренцева моря – Мурманск (1878–2002), Териберка (1890–2000), мыс Святой Нос (1896–2004); на побережье Белого моря – Терско-Орловский маяк (1896–1996), Пялица (1916–2004), Умба (1933–2004), Кандалакша (1913–2004); во

внутренних районах – Падун (1936–2000), Мончегорск (1936–2000), Ловозеро (1900–2000), Краснощелье (1932–2000).

Анализ наблюдений на станциях, организованных в 19 веке, показал, что самым холодным годом на полуострове был 1902, когда наибольшая отрицательная аномалия температуры (A_T), изменялась от -2.7°C в районе Мурманска до -4°C на Терско-Орловском маяке. Вторым экстремально холодным годом был 1966, когда отмечается минимум температуры для станций, организованных после 1910 года. Так, в Кандалакше и Умбе $A_T = -2.4^\circ\text{C}$, (в Мурманске в этом году $A_T = -2.2^\circ\text{C}$). Самым теплым оказался 1938 год: в Мурманске $A_T = +2.4^\circ\text{C}$, в Кандалакше $A_T = +3.5^\circ\text{C}$. Это подтверждает тезис о том, что в Арктике потепление 30–40-х годов было сильнее, нежели в 80–90-х.

При анализе аномалий среднемесячных температур в июле оказалось, что на побережье Баренцева моря самым теплым был 1960 год ($A_T = +5.8 \div +7.0^\circ\text{C}$), а на беломорском побережье – 1938 год ($A_T = +3.5 \div +4.0^\circ\text{C}$). Наиболее холодным июль на полуострове оказался в 1968 г. ($A_T = -4.7^\circ\text{C} \div -3.5^\circ\text{C}$), а в районе горла Белого моря – в 1918 ($A_T = -4 \div -5^\circ\text{C}$). Январь был экстремально теплым в Мурманске в 1934 г. ($A_T = +6.3^\circ\text{C}$), в горле Белого моря – в 1930 г. ($A_T = +6 \div -5^\circ\text{C}$), а вот в Умбе – в 2001 ($A_T = +7^\circ\text{C}$). Самым холодным январь был в 1985 практически повсеместно ($A_T = -9 \div -11^\circ\text{C}$), за исключением горла Белого моря, где максимальные отрицательные аномалии температуры отмечены в 1907 г. ($A_T = -6^\circ\text{C}$, Святой Нос) и 1968 г. ($A_T = -7.7^\circ\text{C}$, Терско-Орловский маяк).

Анализ многолетних изменений годовой температуры воздуха показал, что чем длиннее период наблюдений, тем меньше величина тренда температуры. Так, в Мурманске отмечается положительная тенденция изменения температуры $0.7^\circ\text{C}/100$ лет с высокой степенью достоверности (более 0.995); на Святом мысу она увеличивается до $1.5^\circ\text{C}/100$ лет. Уменьшение периода наблюдений приводит к изменению знака тенденции и уменьшает степень ее достоверности. Так, в Кандалакше тренд среднегодовой температуры практически обратный по сравнению с Мурманском ($-0.6^\circ\text{C}/100$ лет) и статистически незначим.

Работы поддерживаются РФФИ (проект № 08-05-00932).

Влияние радиационных факторов на климатические изменения на территории России. Оценка на основе ансамблевых расчетов с климатическими моделями

Спорышев П.В. (sporyshev@inbox.ru), Катцов В.М., Матюгин В.А.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

С моделью общей циркуляции атмосферы (МОЦА) ГГО разрешения T30L25 выполнено 6 серий по 10 экспериментов в каждой серии, отличающихся только начальными условиями для интегрирования. В первой серии экспериментов температура поверхности океанов (ТПО) и концентрация льда были заданы по данным наблюдений, а интегрирование проводилось с 1947 по 2006 гг. Внешние воздействия на климатическую систему учитывались через изменения в атмосферной концентрации радиационно-активных газов и аэрозолей. Точнее, в экспериментах учитывалось влияние на климат наблюдаемых изменений концентрации в атмосфере углекислого газа, CH_4 , N_2O , хлорфторуглеродов, изменений концентрации стратосферного (вулканического) и сульфатного аэрозоля, а также изменений величины приходящей солнечной радиации (с учетом ее спектральной структуры). Следующие 5 серий экспериментов были предназначены для того, чтобы оценить возможности моделей в воспроизведении наблюдаемых климатических изменений второй половины 20-го века, когда ТПО задается не по данным наблюдений, а на основе расчетов с моделями общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). Кроме того, эти расчеты дают основу для построения вероятностного прогноза эволюции климата на

территории России в первой половине 21-го века. В экспериментах интегрирование МОЦА ГГО проводилось на период с 1947 по 2055 гг., а используемая ТПО была построена на базе температуры, полученной в сценарных расчетах с тремя МОЦАО, участвовавшими в проекте СМIP3. Были использованы результаты расчетов по сценарию A2 по трем моделям: UKMO HadCM3 (Великобритания), MIROC3.2_medres (Япония) и ECHAM5/MPI-OM (Германия). Для первых двух моделей были использованы по одному эксперименту, а для последней модели – три эксперимента с разными начальными условиями. Для устранения возможных неточностей при модельном воспроизведении климатической температуры Мирового океана модельная ТПО была переведена в аномалии по отношению к средней модельной ТПО для периода 1976–1995 гг., а затем к этим аномалиям была прибавлена средняя наблюдаемая температура для этого периода, полученная по данным наблюдений. Концентрация льда в экспериментах не корректировалась, а бралась прямо из соответствующих расчетов с МОЦАО. Внешние воздействия на климатическую систему в сценарных экспериментах учитывались через изменения в атмосферной концентрации радиационно-активных газов и аэрозолей в соответствии со сценарием A2.

По результатам ансамбля экспериментов был выполнен анализ предсказуемости климатических изменений на территории России в конце 20-го века. Для периода 1991–2005 гг. оценивались возможности модельного воспроизведения климатических изменений по отношению к контрольному климату (1961–1990 гг.) как для всей страны, так и для отдельных ее регионов. Большое число экспериментов в модельном ансамбле (50 экспериментов) позволило получить статистические характеристики вероятностных распределений прогнозируемых изменений.

Приведем здесь ряд результатов, касающихся территории России в целом. И данные наблюдений и модельные расчеты показывают статистически значимое увеличение температуры приземного воздуха в конце 20-го века. Результаты модельного ансамбля ГГО показали прирост среднемесячных температур приземного воздуха в среднем за год на 0.60° . (95%-доверительный интервал: $0.46\text{--}0.75$ град.). Для сравнения, аналогичные оценки были получены по ансамблю из 17 МОЦАО, участвовавших в международном проекте СМIP3. Ансамбль МОЦАО дал прирост температуры на 0.72° . (95%-доверительный интервал: $0.49\text{--}0.95^{\circ}$). По данным наблюдений (по архиву CRU, Великобритания) аналогичный прирост составил 0.81° . Таким образом, получено довольно хорошее согласие рассчитанных и наблюдаемых изменений температуры, однако в модельных расчетах прирост температуры меньше наблюдаемого. Важно отметить, что расхождение результатов модельного ансамбля ГГО и ансамбля МОЦАО СМIP3 в дальнейшем уменьшается. Так для периода 2011–2030 гг. первый ансамбль показал прирост температуры по отношению к контрольному климату на 1.44° (95%-доверительный интервал: $1.30\text{--}1.57^{\circ}$), а второй ансамбль – на 1.50° (95%-доверительный интервал: $1.29\text{--}1.71^{\circ}$).

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 09-05-00814-а и 08-05-00569-а).

Связь межгодовой изменчивости приходящей солнечной радиации и основных климатических индексов за период инструментальных наблюдений

Покровский О.М. (pokrov@main.mgo.rssi.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены ряды важнейших климатических индексов: Эль-Ниньо-Южное колебание, Тихоокеанское и Атлантическое десятилетнее колебания, площадь ледового покрытия Северного Ледовитого океана, средние температуры приземного воздуха на репрезентативных станциях суши за 100–250 лет. С другой стороны проанализированы ряды средних значений приходящей солнечной радиации за последние 100 лет и ряды солнечной

активности (числа Вольфа) за 250 лет. Выполнен вейвлет анализ указанных рядов, а также их сглаживание с целью выделения медленных колебаний. Выявлены 60–70-летние составляющие климатической изменчивости с максимальной амплитудой. Обнаружены фазовые сдвиги и нестационарности указанных рядов. Кросс-вейвлет анализ позволил оценить влияние межгодовой изменчивости приходящей солнечной радиации на основные климатические индикаторы.

Климатические ресурсы естественной освещенности на территории Российской Федерации

Шиловцева О.А. (shil_o@mail.ru), Балдина Е.А.

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак-т, Ленинские горы, 119991
Москва, Россия*

Для оценки светового климата пункта, в котором отсутствуют наблюдения за освещенностью (E_q), разработаны два метода её расчета – путём определения световых эквивалентов (LE_q) суммарной интегральной радиации (Q_{ir}) и по продолжительности солнечного сияния. Анализ зависимости LE_q суточных сумм Q_{ir} от количества нижней облачности показал, что существенное изменение LE_q с увеличением облачности происходит только при пасмурном небе. При облачности менее 8 баллов средний LE_q практически не зависит от её количества в силу своей значительной изменчивости, причем в любое время года. Это позволило определить эмпирические зависимости LE_q от полуденной высоты солнца h для двух условий – переменной облачности (средний балл дневной облачности не превышает 8.5 баллов) и пасмурной погоды (8.6–10.0 баллов). Таким образом, используя зависимость LE_q от h в формуле $E_q = LE_q \cdot Q_{ir}$, получаем более точный алгоритм для расчета E_q по данным об интегральной радиации.

Второй метод – расчет освещенности по продолжительности солнечного сияния (ПСС) разработан на базе непрерывных наблюдений за этими параметрами. Для каждого месяца года рассчитана линейная зависимость освещенности от ПСС, коэффициенты регрессии в которой определены методом наименьших квадратов. Учет зависимости регрессионных коэффициентов от высоты солнца в истинный полдень позволяет получить формулу для расчета суточной суммы E_q в любом месте и в любое время года.

В результате рассчитаны средние годовые и месячные количества освещения для 365 станций на территории РФ, данные наблюдений на которых за Q_{ir} и ПСС размещены в климатических справочниках. При сравнении годового хода E_q в различных природных зонах хорошо видно, что из-за особенностей режима облачности на Европейской территории России зимой количество освещения гораздо меньше, чем в Азиатской, а летом, наоборот, максимальный приход E_q наблюдается на ЕТР.

По расчетным данным построены карты распределения количества освещения за каждый месяц и за год. Годовое количество освещения заметно увеличивается с продвижением на юг примерно до 130° в.д., а восточнее его географическое распределение усложняется в связи со сложным рельефом северо-востока России и влиянием северной части Тихого океана. Влияние Уральских гор в Европейской части России приводит к снижению количества освещения на их наветренных склонах и наоборот. Некоторый рост E_q во внутренних частях Среднесибирского и Анадырского плоскогорий, Колымского нагорья, в Забайкалье связан также с ростом континентальности климата в этих районах и общим уменьшением количества облаков.

Общие закономерности географического изменения E_q в течение года хорошо видны на широтных профилях, построенных на основе картографической модели для отдельных месяцев года. В январе распределение E_q практически везде близко к широтному. В апреле зональность нарушается наиболее сильно, т.к. в этом месяце контрасты характеристик подстилающей поверхности и облачности максимальны. Наличие снежного покрова,

значительное увеличение высоты солнца и продолжительности светового дня, уменьшение количества облаков приводят к тому, что в северных районах освещение может быть больше, чем в южных. В июле на ЕТР и Западно-Сибирской равнине распределение E_q соответствует ходу облачности. На северо-востоке страны зональность нарушается: в северных районах количество освещения на 3–5 Млк·час больше, чем в южных, за счет уменьшения облачности и наличия полярного дня. В октябре форма широтных профилей аналогична январским, т.е. на большей части территории страны восстанавливается широтное изменение E_q .

Работы поддерживались РФФИ (проект № 05-05-64696).

Пространственное распределение аэрозольных характеристик атмосферы над Европой и его эффекты на УФ радиацию

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Ленинские горы, ГСП-1
Москва, Россия*

На основании данных спутниковых измерений MODIS (коллекция 5) оценены средние аэрозольные оптические толщины (AOT) на длине волны 550 нм над Европой с пространственным разрешением 1° за период 2000–2008 г. Одновременно с этим использование данных наземной сети AERONET позволило оценить пространственную и временную изменчивость других важных аэрозольных характеристик: параметра Ангстрема, альbedo однократного рассеяния и фактора асимметрии. Данные AERONET также использовались для оценки качества восстановления спутниковых измерений AOT.

Обсуждается метод экстраполяции аэрозольных параметров в УФ диапазоне спектра. Проанализированы сезонные особенности изменчивости аэрозольных оптических толщин и параметра Ангстрема совместно с климатическими полями ветра и осадков, полученными по данным NOAA_NCEP_CPC_CAMS_OPI. Отмечено, что по спутниковым данным над некоторыми индустриальными районами хорошо прослеживаются области с повышенным уровнем AOT, которые согласуются с результатами региональных аэрозольных моделей.

На основании модельных расчетов с помощью модифицированного комплекса TUV показано, что среднее аэрозольное ослабление УФ радиации в зависимости от региона меняется от 1 % до 17 % и имеет существенную зависимость от сезона года. Абсолютные потери УФ индексов могут достигать 1.5. Рассматривается распределение относительных и абсолютных потерь УФР в разные сезоны года в Европе. Показано, что наибольшее ослабление УФ радиации в Европе за счет аэрозоля наблюдается над промышленными районами северной Италии.

Работа осуществлена в рамках европейского проекта COST726, а также частично поддержана грантами РФФИ 07-05-00860-а и #09-05-00582-а.

Оценки городского аэрозольного загрязнения по данным CIMEL в Москве и Звенигороде и его радиационные эффекты

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак-т, Воробьевы Горы, 119992
Москва, Россия*

Свириденков М.А.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

На основании данных параллельных наблюдений по единой методике солнечными фотометрами CIMEL проведено сравнение аэрозольных свойств атмосферы в Москве и в фоновом районе Подмосковья (Звенигородская научная станция ИФА РАН) с сентября 2006

по сентябрь 2007 г. Показано, что в целом наблюдается довольно тесная связь между АОТ в Москве и Звенигороде: коэффициент корреляции составляет около 0.9. Однако в Москве аэрозольные оптические толщины обычно несколько выше. Разница в среднем составляет около 0.02 в видимом диапазоне спектра, но в отдельные дни может достигать больших значений. Рассматривались различия в АОТ в Москве и Звенигороде для всей выборки, а также после дополнительного исключения облачных ситуаций, главным образом облаков верхнего яруса, которые в стандартном алгоритме AERONET плохо фильтруются. Дополнительная фильтрация уменьшила почти в полтора раза стандартное отклонение различий в АОТ, что свидетельствует об относительно большом влиянии облачности верхнего яруса. В летний период наблюдается некоторая тенденция к уменьшению разницы АОТ между городом и пригородом. Следует отметить также небольшие, но значимые различия в величинах параметра Ангстрема. В Москве он несколько меньше по абсолютной величине по сравнению с пригородом ($\Delta = -0.07 \pm 0.02$). Отметим также, что весной (март, апрель, начало мая) повторяемость случаев с меньшими значениями параметра Ангстрема в Москве особенно велика. При этом содержание водяного пара практически одинаково в обоих пунктах.

Были оценены также радиационные эффекты, связанные с различиями в аэрозольных свойствах атмосферы в городе и пригороде. Для этого были отобраны случаи, когда по данным AERONET были доступны восстановления таких параметров, как альбедо однократного рассеяния и фактор асимметрии индикатрисы рассеяния. Расчеты проводились с помощью модифицированного модельного комплекса TUV в видимом и УФ диапазонах спектра. Показано, что в некоторых случаях дополнительное ослабление радиации в городской атмосфере может достигать 15 % только за счет разницы в оптических свойствах аэрозоля.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ (проект 07-05-00860).

Дневная динамика аэрозольной оптической толщины атмосферы и радиационного форсинга аэрозоля в средних летних условиях Сибири

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru), Кабанов Д.М., Сакерин С.М.
Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зueva, 634021 Томск, Россия

Хорошо известно влияние суточного ритма прихода солнечной радиации на колебания метеорологических элементов и, как следствие, на характеристики аэрозоля в пределах пограничного слоя. Дневная изменчивость интегральных характеристик – аэрозольной оптической толщины (АОТ) и влагосодержания атмосферы W – менее выражена, и ее удастся выделить усреднением большого числа данных и нормировкой на среднедневные значения (см., например, [1]). В докладе приводятся характеристики среднего дневного хода спектральных АОТ (0.4–4.0 мкм) и влагосодержания атмосферы, а также дневная изменчивость коротковолновой составляющей прямого радиационного форсинга аэрозоля (РФА). Особенности формирования РФА в типичных условиях сибирского региона определяются сравнительно невысоким замутнением атмосферы – в отличие от радиационных эффектов индустриального и пустынного аэрозоля, а также дымовых ситуаций.

Многолетние исследования (1995–2008 гг.) в районе г. Томска показали, что общей закономерностью для всех рассматриваемых длин волн является увеличение АОТ в первой половине дня. После полудня в изменении АОТ в пределах разных участков спектра наблюдаются отличия: в видимой области АОТ меняется незначительно, тогда как в ближнем ИК диапазоне АОТ (τ_c) начинает уменьшаться в вечерние часы. В целом, относительная амплитуда дневного хода АОТ максимальна в ИК и менее выражена в видимом спектральном интервале. Аналогично τ_c , значения параметра мутности Ангстрема β и влагосодержание атмосферы возрастают в первой половине дня и уменьшаются к вечеру.

Максимальные значения показателя селективности α наблюдаются утром, а минимальные – после полудня. По-видимому, дневной ход показателя α в значительной степени обусловлен динамикой грубодисперсной компоненты АОТ и ее определяющих факторов. Отмечается, что перечисленные особенности дневного хода характеристик атмосферы статистически значимы и проявляются также в весенний период. Предложены аппроксимационные формулы для оценки средней изменчивости τ_λ в диапазоне спектра 0.4–4 мкм по среднедневным значениям τ_c , α и β .

В докладе представлено краткое описание методики расчетов потоков приходящей/уходящей радиации в диапазоне спектра 0.2–5 мкм методом Монте-Карло [2]. Выбор входных параметров осуществляется на основе комбинации данных измерений спектральной АОТ и W и задании недостающих значений на основе известных моделей аэрозоля (WCP, OPAC) и газовых компонент (AFGL) атмосферы.

На основе результатов численного моделирования анализируется зависимость РФА от дневного хода АОТ и влагосодержания атмосферы, а также астрономического фактора – зенитного угла Солнца. Обсуждаются особенности типичного дневного хода радиационного форсинга аэрозоля и его среднесуточных значений для характерных летних условий Сибири.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00961, интеграционного проекта СО РАН № 75 и проекта ОНЗ-12 (7.12.1).

1. Панченко М.В., Пхалагов Ю.А., Рахимов Р.Ф., Сакерин С.М., Белан Б.Д. Геофизические факторы формирования аэрозольной погоды Западной Сибири. *Опт. атмосферы и океана*, 1999, 12, № 10, 922– 934.
2. Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Фирсов К.М. Моделирование прямого радиационного форсинга аэрозоля для типичных летних условий Сибири. Часть 1: метод расчета и выбор входных параметров. *Опт. атмосферы и океана*, 2009, 22, № 2, с. 163– 172.

Вариации ультрафиолетовой радиации в районе Томска

Скляднева Т.К. (tatyana@iao.ru), Белан Б.Д., Ивлев Г.А.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Академический пр. 1, 634021 Томск, Россия

Ультрафиолетовая радиация (УФР) играет важную роль во многих фотохимических и химико-биологических процессах, происходящих в атмосфере Земли и на ее поверхности, участвует в формировании климата, влияет на биосферу планеты. Уровень и вариации приземной ультрафиолетовой радиации определяются как астрономическим фактором (зенитным углом Солнца), так и рядом других факторов (общим содержанием озона, наличием облачности, альбедо подстилающей поверхности и т.д.), зависящих от физико-географических и климатических особенностей региона. Существующая в настоящее время в России сеть наземного мониторинга УФР и спутниковые измерения не позволяют контролировать ее изменения на региональном уровне. В тоже время из ряда работ [1–3] следует, что изменения УФР, связанные с региональными особенностями, могут быть значительными.

В настоящей работе представлены результаты мониторинга ультрафиолетовой (Б) радиации, проводимого с помощью ультрафиолетового пиранометра UVB-1 и спектрофотометра Brewer MKIV № 049 на TOR-станции ИОА СО РАН г. Томска в 2003–2008 г. Анализ результатов измерений показал, что основной вклад в годовой приход УФ-Б радиации внес теплый период (78 %) с максимумом в июне. Колебания месячного поступления УФ-Б радиации были достаточно велики и достигали ± 45 % (зимой). В Томске за рассматриваемый период безоблачное небо наблюдалось только в 10 % случаев, а в остальных случаях фиксировались облака различной бальности. Анализ влияния облачности на приходящую радиацию показал, что пропускание УФ-радиации облаками имеет сезонный ход, который практически не зависит от количества облаков. Наибольшее ослабление облаками отмечено в теплый период, а наименьшее – в весенне-осенний период для всех баллов облачности. Повторяемость случаев, когда приходящая радиация была больше

максимально возможной, составила от 8 до 18 % в весенне-осенний период и около 3% – в летний.

В среднегодовом ходе поступления интегральной УФ-Б радиации наблюдается весеннее повышение суточного прихода в начале апреля с последующим спадом к середине апреля, а после локального минимума дальнейший рост суточного поступления радиации. Данная весенняя особенность проявляется во всем спектральном диапазоне 280–320 нм.

Работа выполнена при поддержке программы № 16 Президиума РАН, грантов РФФИ 07-05-00645, 08-05-92499, 09-05-10020, проекта МНТИЦ № 3032.

1. Seckmeyer G., McKenzie R.L. Increased ultraviolet radiation in New Zealand (45S) relative to Germany (48N). *Nature*, 1992, **359**, 6391, 135–137.
2. Mantis H.T., Repapis C.C., Philandras C.M. and ell. A 5-year climatology of the solar erythemat ultraviolet in Athens, Greece. *International Journal of Climatology*, 2000, **20**, 1237–1247.
3. Chubarova N.Ye. and Nezval I.Ye. Thirty year variability of UV irradiance in Moscow. *J. Geophys.Res.*, 2000, **105**, D10, 12529–12539.

Влияние солнечной активности на скорость распада p/a атомов и радиационный баланс Земли

Никольский Г.А. (gnik777@mail.ru), Шульц Э.О.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Высокогорный мониторинг (Северный Кавказ, 2100 м) вариаций солнечных эмиссий продолжался с 1978 до 2004 г. Комплексность изучения изменчивости электромагнитного излучения Солнца (ЭЛМ) и сопутствующих погодных эффектов способствовали обнаружению постоянно присутствующего специфичного (не ЭЛМ) спирально-вихревого излучения (СВИ), выходящего из открытых магнитных структур Солнца. Особенности эффектов воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу указали на вихревую природу этой радиации. Когда Земля накрыта коллимированным лучом СВИ из тени большого пятна, полуглобальный дополнительный приток вихревой энергии к системе "атмосфера-подстилающая поверхность" достигает $5 \cdot 10^{23}$ эрг/с. В отсутствии пятен и корональных дыр фоновый поток СВИ на Земле $\sim 1.3 \cdot 10^{22}$ эрг/с. Для ЭЛМ излучения (исходя из солнечной постоянной) поток на Землю $\sim 1.7 \cdot 10^{24}$ эрг/с. Поглощение СВИ наиболее эффективно в глубинах морей и океанов, что ведет к скрытому накоплению там тепла и его переносу в высокие широты. Уже 25 лет растет положительный радиационный баланс Земли за счет огромной теплоемкости Мирового океана и таяния полярных льдов. Для сдерживания этого процесса необходимо срочно изменять глубинную циркуляцию теплых вод в океанах. Наши исследования и недавние в США, Англии и Германии подтверждают скрытое, но существенное влияние солнечных (не ЭЛМ) эмиссий на фундаментальные физические процессы и фундаментальные константы, а также указывают на реальность участия солнечных факторов в современных изменениях климата.

Анализируя ход вариаций распада изотопа Се 144 в связи с событиями на Солнце в те же дни, мы выяснили, что в опыте в Политехническом ин-те в 1994 г. на временном ходе скорости распада зарегистрирован ряд максимумов и минимумов, синхронных с прохождением двух активных областей через известные геоэффективные долготы, находящиеся по обе стороны центрального меридиана солнечного диска. Через два года в экстренной печати ([arXiv:0808.3283v1](https://arxiv.org/abs/0808.3283v1)) появились статьи, показывающие на наличие достоверной связи между изменениями скорости распада Si32 и Ra226 и вариациями солнечной активности. Авторы этих работ не нашли объяснений обнаруженным корреляциям, мы же нашли объективное подтверждение обнаруженной нами прямой связи эмиссий из солнечных пятен с конкретными изменениями скорости распада Се144. Эти события ставят точку в цепи сторонних сомнений в физической реальности существования спирально-вихревого излучения.

Есть и дальнейшие продвижения по структурным параметрам и источникам СВИ. Так, например, стало очевидным, что спирально вихревое поле (СВП) суть конгломерат разномасштабных солитонов, миллиарды лет “выстреливаемых” Солнцем для поддержания планетной системы в условиях строгого соответствия исходным параметрам. “Миллионная батарея солнечных орудий” – это разномасштабные спикеры, “стреляющие” каждые 25 минут сгустками СВП – вихревыми солитонами, которые можно образно представить как гигантскую совокупность некоторых, менее масштабных вихрей (квантов СВП), встроенных в родительское тело. Квант СВП – это высокочастотный вихрь левой или правой закрутки, несущий импульс (количество движения) и момент импульса. Квант СВП готов передать их первой встречной частице вещества, например, электрону, протону, нуклону, атому, молекуле и т.д. На Земле удастся регистрировать как макро, так и микро солитоны, которые можно интерпретировать как высокочастотные продольные одиночные волны (вихри). СВП обладает высокой проникающей способностью, но на порядки меньшей по сравнению с нейтринным полем. Проникая через Землю, СВП оставляет в ней около 15 % своей энергии, вкладываемой в основном в передачу углового момента частицам земного вещества. Очень важна особенность СВП использовать геоид как фокусирующую линзу. При большой СВП-освещенности Земли, на ее ночной стороне возможны катастрофы: землетрясения, НЛО и т.д.

Радиационный баланс в Москве по наблюдениям за 50 лет

Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru), Абакумова Г.М.

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак-т, Воробьевы Горы, 119992
Москва, Россия*

Радиационный баланс подстилающей поверхности является одним из основных климатообразующих факторов и в период глобального изменения климата изучение его изменчивости представляет большой интерес. На базе непрерывных наблюдений в Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) за 50 лет (1958–2007 гг.) систематизированы и обобщены данные о радиационном балансе подстилающей поверхности (B). Получены климатические нормы и оценены пределы изменчивости (суточной, годовой, межгодовой) B , получены корреляционные зависимости между главными его составляющими и факторами, определяющими их изменчивость, определена вероятность появления той или иной суточной суммы B в течение года. Создается электронная база данных B .

Закономерности изменения часовых сумм радиационного баланса (ΣB_q) определяются факторами, влияющими на его основные составляющие, – высота солнца, облачность, влагосодержание, температура и альbedo подстилающей поверхности. Изменчивость ΣB_q в дневное время существенно больше, чем в ночное. Максимальные значения ΣB_q наблюдаются в околополуденные часы, в течение года они увеличиваются от декабря к июню: от 0.01 МДж/м² до 1.27 МДж/м². В последние пятнадцать лет для ночных часовых сумм ΣB_q (эффективного излучения) наблюдается тенденция роста, больше выраженная в зимние месяцы. Исследования показали, что такие изменения эффективного излучения связаны с увеличением противоизлучения атмосферы, т.е. парниковым эффектом.

Суточные суммы радиационного баланса отрицательны с ноября по февраль, а в некоторые годы – с сентября по апрель. Средние значения суточных ΣB_c увеличиваются с января по июнь (от – 0.93 до 9.97 МДж/м²), амплитуда суточных колебаний B также возрастает от зимы к лету. Суточные суммы значительно меняются в зависимости от условий погоды и состояния подстилающей поверхности. Определяющим фактором начала периода с отрицательными ΣB_c является альbedo подстилающей поверхности. В среднем переход ΣB_c через нуль наблюдается после 13 марта и 24 октября. Число дней в году с отрицательными

ΣB_c изменяется от 75 (2006 г.) до 137 (1963 г.). В период 1958–2007 гг. наблюдается тенденция уменьшения количества дней с отрицательными суточными суммами радиационного баланса, это уменьшение происходит как за счет увеличения положительных ΣB_c в зимние месяцы, так и за счет уменьшения отрицательных ΣB_c в марте в последние годы. Близкое к бимодальному распределение средних суточных сумм отражает условия радиационного режима теплого и холодного периодов года. Наибольшая повторяемость ΣB_c приходится на градацию – 0.5–0.5 МДж/м².

Годовой ход месячных сумм радиационного баланса имеет простой вид с максимумом в июне и минимумом в январе и повторяет годовой ход интегральной суммарной и поглощенной радиации. В среднем в Москве в течение четырех месяцев (с ноября по февраль) B отрицателен. В некоторые годы отрицательные месячные суммы отмечаются в октябре и в марте, что связано с установлением и сходом снежного покрова.. В эти месяцы эффективное излучение в 1.5–2.7 раза превышает поглощенную радиацию. За последние 50 лет наибольшее отрицательное значение ΣB_m (– 72 МДж/м²) отмечено в феврале 1969 г., а наибольшее положительное (373 МДж/м²) – в июне 1999 г.

Поглощенная радиация B_K является ведущей составляющей радиационного баланса в течение всего теплого периода, о чем свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции между B и B_K . С ноября по февраль связь между указанными величинами ослабевает, знак коэффициента корреляции меняется на противоположный. В эти месяцы основной вклад в общий баланс вносит эффективное излучение. Сложные и не линейные зависимости между значениями радиационного баланса и основными факторами, определяющими их изменчивость, не позволили выразить эти зависимости математически. Существенная (на 15 %), статистически значимая тенденция к увеличению годовых сумм B определяется зимними месяцами и месяцами установления и схода снежного покрова.

Реконструкция УФ индексов в Москве за последние 50 лет

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru), Партола В.С.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., Ленинские горы, ГСП-1
Москва, Россия*

Хорошо известно, что воздействие повышенных доз биологически активной УФ радиации оказывает неблагоприятное воздействие на человека, способствуя заболеваниям кожи, глаз, ослаблению иммунной системы и др. Во многих случаях ее действие имеет кумулятивный характер, что требует оценки уровня УФР в прошлом. Целью данной работы является разработка нового метода реконструкции с суточным разрешением и восстановление биологически активной эритемной радиации и УФ индексов в Москве с 1958 по 2008 г. Метод предполагает использование расчетов радиации с помощью модифицированного модельного комплекса TUV при отсутствии облаков. В модели использовались данные по общему содержанию озона, полученные в ходе выполнения европейского проекта COST 726. При расчете учитывались также аэрозольные оптические толщины для 550 нм, которые определялись по данным о прямой солнечной радиации и влагосодержании атмосферы [1]. На основании анализа результатов измерений солнечным фотометром CIMEL в видимом и УФ диапазоне спектра в Москве с 2001 г. были получены оптимальные соотношения для экстраполяции АОТ в УФ диапазон спектра. При этом принимались во внимание существующие сезонные вариации параметра Ангстрема. В новом методе учитывалось также альbedo поверхности, которое оценивалось с использованием стандартных метеорологических измерений за степенью покрытия снежным покровом. Учет облачности проводился на основании данных измерений суммарной коротковолновой радиации 0.3–4.5 мкм и ее модельных расчетов для ясного неба с учетом последующей спектральной коррекции в УФ диапазон спектра.

В результате рассчитаны суточные полуденные значения УФ индексов при ясном небе и в условиях облачности с 1958 г. и оценено влияние различных факторов на их изменчивость. Полученная реконструкция УФР в целом согласуется с результатами предыдущей версии модели реконструкции с более грубым временным разрешением [2], а также с непосредственными измерениями, которые осуществляются в Метеорологической обсерватории МГУ с 1999 г.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №09-05-00582-а.

1. Тарасова Т.А., Ярхо Е.В. Определение аэрозольной оптической толщины атмосферы по наземным измерениям прямой интегральной солнечной радиации. *Метеор. и гидр.*, 1991, 2, 66–71.
2. Chubarova N.Ye. UV variability in Moscow according to long-term UV measurements and reconstruction model. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2008, 8, 893–906.

Колебания продолжительности солнечного сияния в Украине

Рыбченко Л.С. (L-Rybchenko@yandex.ru), Савчук С.В.

Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, пр-т Науки 37, 03028 Киев, Украина

Оценка климатических изменений радиационного режима в Украине может быть дополнена рассмотрением измерений продолжительности солнечного сияния, для которой имеется в три раза больше станций наблюдений, чем станций актинометрической сети. Это позволяет провести более детальный анализ распределения по территории одной из характеристик радиационного режима. После выхода климатического Кадастра Украины за 1961–1990 гг. метеорологические ряды дополнены данными за 1991–2007 гг. [1, 2]. На базе наблюдений 1961–2007 гг. проведено сравнение месячных, сезонных, за холодный и теплый периоды, а также годовых значений продолжительности солнечного сияния последних десятилетий относительно стандарта 1961–1990 гг. Для длиннорядных станций с периодом наблюдений сто лет и больше проведен анализ хода значений разного разрешения за весь период наблюдений.

Сравнение измерений периода последних десятилетий относительно стандартной климатологической нормы 1961–1990 гг. выявило существенные колебания продолжительности солнечного сияния. Зимой для большинства станций в январе она уменьшилась от 3 до 15 %, а феврале, декабре и в целом за сезон возросла. Весной за исключением некоторых станций на берегах Черного и Азовского морей число часов солнечного сияния увеличилось до 10–15 %. Летом для большей части территории наблюдалось также увеличение, особенно значительное в июле. Осенью в целом за сезон продолжительность солнечного сияния уменьшилась в результате ее падения по территории от 5 до 30 % в сентябре и менее существенного в октябре. В ноябре отмечалось снижение в основном для некоторых станций на побережье Черного и Азовского морей. В целом за год продолжительность солнечного сияния для большей части территории возросла.

Анализ хода продолжительности для станций, имеющих столетний период измерений, выявил, что в начале XX столетия наблюдалась наименьшая продолжительность солнечного сияния, которая с середины 30-х годов сменилось ростом, продолжавшимся и в 50 годы. Наибольшая продолжительность солнечного сияния измерялась в начале 60-х годов, а с середины этого десятилетия и до начала 80 годов отмечалось ее постепенное уменьшение. В 80-е годы произошло увеличение числа часов солнечного сияния, которое продолжается и в начале нынешнего века, а для некоторых станций оно достигло уровня, характерного для начала 60-х годов.

Максимум продолжительности солнечного сияния для большей части территории отмечен в 1963 г. Минимум для нескольких станций со столетним периодом измерений наблюдался в 1912 г., а второй минимум для большинства станций – в 1980 г. Анализ по отдельным пятилетиям за сорокапятилетний период (1961–2005 гг.) показал, что наименьшая

продолжительность солнечного сияния отмечена в 1976–1980 гг. а наибольшая – в 1961–1965 гг. для всей территории страны. Существенные колебания обусловлены влиянием атмосферной циркуляции. Одним из природных факторов, определяющим изменение продолжительности солнечного сияния, является стратосферный аэрозоль, наиболее существенные колебания которого происходят в результате извержения вулканов. Антропогенное воздействие больше проявляется на урбанизированных территориях и в районах размещения крупных промышленных объектов.

1. Рибченко Л.С. *Тривалість сонячного сяйва. Клімат України* / За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003, 42–45.
2. Рибченко Л.С. Особливості впливу урбанізації на зміну температури повітря і сонячної радіації. *Український географічний журнал*, 2006, № 1, 17–22.

Эталонные расчёты для проверки радиационных блоков климатических моделей в 2009 году

Фомин Б.А. (b.fomin@mail.ru)

Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Фалалеева В.А. (victory@phystech.edu)

Московский физико-технический институт, Институтский пер. 9, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Разработка радиационных блоков Моделей Общей Циркуляции Атмосферы (МОЦА), в том числе климатических, является сложной задачей, которая удовлетворительно не решена по настоящее время, так как погрешности этих блоков ещё сравнимы с антропогенными форсингами, вызвавшими известные изменения климата. Эти погрешности легко выявляются как с помощью взаимосравнений расчётов потоков атмосферной радиации, выполненных в одинаковых атмосферных условиях разными группами, так и с помощью сравнений с «эталонными» (Line-by-Line) расчётами, полученными методом «прямого» интегрирования. Роль последних при этом особенно велика: они не только позволяют оценивать погрешности, но также являются опорными для настройки блоков путём подбора свободных параметров в «быстрых» параметризациях атмосферной радиации. Досточно полный набор таких расчётов был получен одним из авторов ещё около десяти лет назад. Однако в настоящее время эти расчёты в значительной мере устарели, так как с тех пор используемая ими исходная спектроскопическая информация претерпела существенные изменения. Кроме того, устарели и используемые в них модели атмосферы (Мак-Латчи). В частности в этих моделях слишком грубое вертикальное разрешение.

В новой серии расчётов, представленной в докладе, используется текущая версия спектроскопической базы HITRAN, модель континуума водяного пара MTCKD-2.1 и т.п. Модели атмосферы для расчётов взяты из недавних взаимосравнений кодов CIRC (<http://circ.gsfc.nasa.gov>) и CCMVAL (www.env.leeds.ac.uk/~piers/ccmvalrad.shtml), проведённых в 2008 и 2009 г. Расчитывались потоки солнечной и тепловой радиации в условиях чистой атмосферы и содержащей облака и аэрозоль, характеристики которых взяты из натурных экспериментов.

Финансовая поддержка была обеспечена Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 08-01-00024 и 08-05-00140).

Оценка радиационного нагрева и выхолаживания подстилающей поверхности в пустыне, расположенной в центре Ирана, на основе одномерной радиационной модели

Мемариан М.Х. (memarian@yazduni.ac.ir), Запе А.
Университет г. Язд, Университет г. Тегеран, Иран

Радиация играет важную роль в системе земля-атмосфера. Радиационные потоки влияют на термическую структуру и циркуляцию атмосферы, на химические процессы в атмосфере и гидрологический цикл. Детальная количественная информация о радиационных полях в системе земля-атмосфера важна для понимания и прогноза эволюции компонент системы.

Исследование состоит из двух основных частей. Разработана одномерная плоскопараллельная модель радиационного переноса с учетом многократного рассеяния и выполнено испытание качества модели путем сравнения рассчитанных потоков на подстилающей поверхности, скорости ее нагрева и выхолаживания с данными наблюдений. Наблюдения проводились в окрестности города Язд, расположенного в центральной пустыне Ирана.

Сравнение результатов вычислений с данными наблюдений, выполненное для периода август–сентябрь 2006 г., показало, что радиационная модель «SBDART» полезна для расчета радиационных потоков на поверхности. В рассматриваемый период модель воспроизводила 24-х часовой радиационный цикл достаточно хорошо. Однако в течение периода времени от захода солнца до восхода присутствовал недостаток, который состоял в том, что имелось постоянное отрицательное значение эффективного потока в результате вычисления длинноволновых потоков, которые следуют за температурой поверхности. Для того чтобы исправить недостаток, был учтен 24-х часовой цикл температуры поверхности, поскольку ранее расчеты проводились при постоянном значении температуры в течение суток. С этими изменениями значения эффективных потоков на поверхности в ночное время и в течение суток изменились и результаты моделирования улучшились.

Изменчивость уровня приходящей солнечной радиации на территории Молдовы

Акулинин А.А. (akulinin@phys.asm.md), Смыков В.П., Поликарпов А.А.
Институт прикладной физики АН Молдовы, ул. Академией 5, МД-2028 Кишинев, Молдова

Измерения приходящей солнечной радиации на горизонтальную поверхность проводились в Кишиневе на наземной станции по мониторингу солнечной радиации на базе Института прикладной физики АН Молдовы. Станция находится в режиме непрерывной работы начиная с октября 2003 года. В ее состав входят стационарный (для измерения глобальной компоненты) и автоматический солнечно-следающий (для измерения прямой и рассеянной компоненты) комплексы, оснащенные 9 широкополосными датчиками солнечной радиации в диапазоне от 280 нм до 2800 нм (с поддиапазонами UV-B; UV-A; PAR; 400–1100 нм; 300–2800 нм) и атмосферной радиации от 4 до 42 мкм. Дополнительно на станции проводятся измерения метеопараметров (комплекс MiniMet), общего содержания озона (ручной озонометр Microtops II) и аэрозольной оптической толщины (солнечный фотометр Cimel-318) в рамках международной программы AERONET, NASA/GSFC.

Значения годовых сумм суммарной, прямой и диффузной солнечной радиации $\langle Q \rangle$ на горизонтальную поверхность, усредненных за период непрерывных наблюдений 2004–2008 гг. для действительных условий, составляют величины $\langle Q_{gl} \rangle \sim 4661.8$ МДж/м², $\langle Q_{dir} \rangle \sim 1992.3$ МДж/м² и соответственно $\langle Q_{dif} \rangle \sim 2669.6$ МДж/м²; среднее значение суммарной продолжительности солнечного сияния ~ 2085 часов. Доля рассеянной радиации в годовой суммарной солнечной радиации в Кишиневе составляет в среднем ~ 48.9 %. Для

суммарной солнечной радиации отношение вклада радиации за период март–сентябрь к величине годовой суммы составляет в среднем $\sim 82.8\%$. Отношение действительной годовой суммы суммарной радиации к возможной сумме (чистая безоблачная атмосфера) за этот период наблюдений составляет в среднем $\sim 65.2\%$. Среднее значение интегральной прозрачности атмосферы P_2 (при воздушной массе $m=2$ для условий безоблачной атмосферы) для Кишинева в течение 2004–2007 гг. за период февраль–октябрь составляло величину $\langle P_2 \rangle \sim 0.74$; июль–август характеризуются как месяцы с замутненной атмосферой $\langle P_2 \rangle \sim 0.71$, наибольшая прозрачность атмосферы ~ 0.75 – 0.78 наблюдается в феврале, марте и октябре.

Для внутригодового изменения месячных сумм суммарной радиации характерен максимум освещенности в июне и минимум в декабре. Наибольшее значение среднегодовой суммарной солнечной радиации $\langle E_{gl} \rangle \sim 157.2$ Вт/м² наблюдалось в 2007 году, вместе с тем, в этом же году в декабре месяце наблюдались аномально низкие (за весь период измерений в Кишиневе начиная с 1953 года) значения среднемесячной суммарной и прямой солнечной радиации – $\langle E_{gl} \rangle \sim 18.8$ Вт/м² и $\langle E_{dir} \rangle \sim 1.5$ Вт/м² из-за длительного периода (28 дней) сплошной облачности.

На основе анализа данных SoDa HelioClim-2 (France), полученных при восстановлении изображений поверхности Земли со спутниковой платформы METEOSAT, произведена оценка широтной вариации годовых сумм суммарной солнечной радиации на территории Молдовы за период 2005–2008 гг., которая в среднем равна ~ -197 МДж/(м²·град) (убывание с ростом значения широты). Показано, что сезонные значения суммарной солнечной радиации, усредненные за период наблюдений 2004–2008 гг., линейно зависят от широты места наблюдения (убывают с ростом широты), а коэффициенты варьируются для сезонов следующим образом: “весна” – 7.8 Вт/(м²·град), “лето” – 4.9 Вт/(м²·град), “осень” – 6.4 Вт/(м²·град) и “зима” – 5.2 Вт/(м²·град).

Более подробная информация о наземной станции, об используемом оборудовании, измерениях и результатах наблюдений приведена на сайте группы <http://arg.phys.asm.md>.

СЕКЦИЯ 6. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ

Председатель: к.ф.-м.н. **Ю.А. Борисов** (ЦАО, Долгопрудный)

Сопредседатели: д.ф.-м.н. **Н.Ф. Еланский** (ИФА РАН, Москва), к.ф.-м.н. **Е.И. Гречко** (ИФА РАН, Москва), к.ф.-м.н. **В.А. Юшков** (МГУ, Москва)

Новый лидарный комплекс

Иванов А.П. (ivanovap@dragon.bas-net.by), Чайковский А.П., Орлович В.А.,
Лисинецкий В.А., Осипенко Ф.П., Хутко И.С., Слесарь А.С.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Белоруссия

Измерения параметров атмосферы с использованием лидарных систем дают основной объем информации об высотных профилях параметров атмосферных компонентов. Возрастающая значимость проблемы изменения климата и экологических задач, обусловленных глобальным загрязнением атмосферы, требует объединения лидарных станций в лидарные сети и проведения координированных наблюдений параметров атмосферных компонентов на основе единых методик измерения и алгоритмов обработки данных, а также использования унифицированных лидарных систем. В планах развития международных лидарных сетей и, прежде всего, Европейской лидарной сети EARLINET и сети в странах СНГ признано необходимым стремиться к созданию многофункциональных базовых лидарных станций, которые обеспечат измерение широкого набора характеристик аэрозоля и газовых компонентов, а также метеорологических параметров. Одновременно, эти станции будут служить в качестве образцовых приборов для калибровки других лидарных систем.

В работе излагаются результаты совершенствовании лидарного комплекса Института физики НАН Беларуси с учетом требований к лидарным системам. Созданы многоволновая лидарная система с Рамановскими каналами (МЛС-Р), и система измерения высотного распределения озона в интервале 1–40 км.

Кардинальными задачами при создании МЛС-Р были разработка многоволнового излучателя, многоканальной оптической приемной системы и фотоприемных модулей. Оригинальным блоком излучателя является трехволновый коллиматор, который обеспечил пятикратное уменьшение расходимости излучения лазера одновременно на 3-х длинах волн: 355, 532, 1064 нм. Оптическая приемная система представляет собой семиканальный оптический анализатор, предназначенный для регистрации аэрозольного рассеяния на указанных длинах волн, а также сигналов Рамановского рассеяния азотом (387 и 607 нм) и парами воды (387 нм). Созданные фотоприемные модули являются унифицированными узлами лидарной аппаратуры в лидарной сети CIS-liNet и на некоторых станциях сети EARLINET. Модули включают фотоприемный датчик (фотоумножитель или лавинный фотодиод), усилитель, аналого-цифровой преобразователь (для регистрации в аналоговом режиме) или дискриминатор/счетчик импульсов (для регистрации в режиме счета фотонов). Внутренняя память и схема управления фотоприемного модуля организована на программируемой логической матрице АЛБТЕРА. Модуль на основе лавинного фотодиода оснащен схемой охлаждения фоточувствительного кристалла фотоприемника на основе элемента Пельтье. Разработанная схема обеспечивает оперативное изменение основных параметров регистрации в зависимости от конкретных задач лазерного зондирования. Связь модулей с управляющим компьютером осуществляется по высокоскоростной универсальной последовательной шине USB-2.0.

Для зондирования озона в стратосфере использован озоновый лидар (355 и 308 нм), а в тропосфере – ВКР-лазер (281.7 нм) на кристалле КГВ при его накачке АИГ:Nd-лазера (532 нм). Корректный расчет профилей концентрации озона требует учета ослабления излучения аэрозолем. Поэтому для одновременного зондирования озонового и аэрозольного слоя в тропосфере и стратосфере сформирована комплексная передающая система. Три

излучателя лидарного комплекса формируют зондирующее лазерное излучение на 5 длинах волн: 281.7, 308, 355, 532 и 1064 нм. В связи с большим динамическим диапазоном локационных сигналов при зондировании – от нескольких сотен метров до 35 км – используются три приемных объектива (особенно для излучения в линии поглощения озона). Большой объектив с диаметром зеркала 600 мм служит для регистрации локационных сигналов из дальней зоны. Два других с диаметром зеркал 210 мм используется для зондирования озона в ближней зоне и аэрозоля. Конструктивно излучатели и приемные объективы расположены таким образом, чтобы обеспечить регистрацию локационных сигналов как в ближней, так и в дальней области.

На рассмотренных комплексах проведены натурные измерения.

Инструментальная оценка влияния облачности при автоматизированных измерениях общего содержания озона

Соломатникова А.А. (pulsin@mail.ru), Шаламянский А.М.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Наиболее удобным способом контроля состояния защитного озонного слоя атмосферы является мониторинг общего содержания озона (ОСО). На территории РФ эту задачу выполняет озонная сеть Росгидромета, оснащенная фильтровыми озонметрами М-124. Устаревшие к настоящему времени приборы должны быть заменены современной автоматизированной аппаратурой. Для переоснащения сети в ГГО им. А.И.Воейкова разработан ультрафиолетовый озонный спектрометр (УФОС). Существующие методы расчета ОСО основаны на определении отношения уровней ультрафиолетовой радиации (УФР) на двух длинах волн (или в двух спектральных интервалах) – в участках спектра с сильным и слабым поглощением озона. Количество безоблачных дней на большей части территории РФ составляет не более 30 % дней в году. Уменьшение дней с пропусками наблюдений может быть обеспечено только наблюдениями по зениту ясного и облачного неба. Однако расчет ОСО при автоматизированных измерениях при наличии облачности связан с определенными трудностями. При ручных наблюдениях для учета влияния облачности используется визуальная оценка состояния неба. При автоматизированных измерениях привлечение визуальных оценок невозможно, необходим инструментальный способ введения поправок на облачность.

В настоящей работе предлагается способ учета влияния облачности, рассчитанный на измерения с помощью спектрометра, который регистрирует спектральный состав УФР, приходящей от зенита ясного или облачного неба. При использовании УФОС, также как и во всех оптических озонметрах, для расчета ОСО оценивается отношение уровней УФР на двух длинах волн. Для измерений по зениту ясного неба в расчет вводится найденная при калибровке зависимость этого отношения от высоты Солнца (оптической воздушной массы). При измерениях по зениту облачного неба для введения поправок «на облачность» используется способность УФОС регистрировать спектральный состав УФР во всем диапазоне от 290 до 400 нм. Предварительно при калибровке по зениту ясного неба в безоблачную погоду определяется зависимость крутизны спектрального хода УФР от высоты Солнца (оптической воздушной массы) в области спектра вне полосы поглощения озона. При наличии облачности крутизна спектрального хода изменяется в зависимости от оптической плотности облачности. Чем плотнее облачность, тем больше изменяется (как правило увеличивается) крутизна УФР и в области поглощения озона и вне ее. Для оценки влияния облачности используется участок спектра УФР вне полосы поглощения озона. В момент проведения наблюдений отличие крутизны спектрального хода на этом участке от крутизны спектра при ясном небе и такой же высоте Солнца определяет степень влияния

облачности. Эта оценка экстраполируется на область поглощения озона и используется для введения «поправки на облачность» при расчете ОСО.

Применение данной методики позволяет обеспечить необходимую точность и автономность работы УФОС по свету от зенита как ясного, так и облачного неба. Приведены результаты апробации метода во время измерений с помощью экспериментальных образцов УФОС в Воейково, Мурманске и Цимлянске.

Способ обнаружения тепловых объектов на коррелированном атмосферном фоне

Якименко И.В. (Jakigor@rambler.ru), Жендарев М.В., Гурченков Д.А.
Военная академия войсковой ПВО ВС РФ им. А.М. Василевского, г. Смоленск, Москва

По характеру решаемых задач существующие инфракрасные (ИК) оптико-электронные системы (ОЭС) можно разделить на два класса. К первому можно отнести системы тепловидения, основными задачами которых являются обнаружение и распознавание различных теплоизлучающих (тепловых) объектов по их изображениям. Используя этот класс приборов, можно решать задачи сопровождения и прицеливания. Их называют прицельными ОЭС (тепловизорами). Размеры изображений объектов в таких приборах сопоставимы с размерами фокальной плоскости (или с размерами регистрирующего матричного приемника излучения (МПИ)). Второй класс – это системы обнаружения. Их называют обзорными ОЭС (теплопеленгаторами). Теплопеленгаторы имеют оптическую систему с широким полем зрения ($> 20^\circ$), коротким фокусным расстоянием около 50 мм и матричным приёмником ИК-излучения. Угловой размер наблюдаемого точечного объекта в них меньше или равен элементарному угловому полю матричных инфракрасных (ИК) приемников. Основная задача таких систем – обнаружение точечных тепловых объектов, попавших в поле зрения оптической системы, на атмосферном фоне при максимальной дальности. Под точечным объектом (целью) понимается малоразмерный тепловой объект, изображение которого уместается в элементарном поле зрения (пиксель изображения) пеленгатора.

Для таких теплопеленгаторов в настоящее время применяется способ обнаружения точечных тепловых объектов на фоноцелевом изображении (ФЦИ), основанный на зрительном разделении яркости отметок точечного теплового объекта и флюктуаций атмосферного фона. Проблемы видения возникают вследствие потенциально слабой контрастности ФЦИ, низкой заметности целей и возможного появления пассивных и активных видов противодействия (маскировка, ложные тепловые цели (ЛТЦ), прожекторы и т.п.). Для улучшения качества изображений и после анализа причин его ухудшения были созданы различные способы цифровой фильтрации и обработки двумерного изображения. Обработка изображений проводится в реальном масштабе времени без пропуска кадров. К ней можно отнести: алгоритмы цифровой коррекции неоднородностей, сглаживание шумов, повышение контрастов, подчеркивание границ, высокочастотная коррекция, коррекция дефектных пикселей и др., реализованные программно в видеопроцессоре теплопеленгатора. Названные способы обработки изображений лишь косвенно улучшают характеристики теплопеленгаторов за счет улучшения визуального восприятия изображения оператором.

Таким образом, необходимы новые способы обнаружения воздушных целей, которые способны выделять отметки точечных тепловых объектов на изображении атмосферного фона без участия оператора. На конечном этапе обнаружения оператор на мониторе должен увидеть изображение, для которого характерно максимально контрастное представление отметок тепловых объектов на скомпенсированном равномерном фоне. Для получения такого изображения достаточно двух уровней квантования. Полученные на экране монитора бинарные изображения тепловых объектов позволяют определять их угловые координаты и количественный состав.

Сущность предлагаемого способа обнаружения тепловых объектов на атмосферном фоне заключается в том, что предлагается использовать отличия пространственных спектров излучения точечных объектов и протяженного, более холодного, атмосферного фона. Пространственный спектральный анализ атмосферного фона содержит расчет нормированных пространственных спектральных плотностей мощности флуктуаций излучения. Он связан с методическими и вычислительными сложностями, касающимися оптимизации выбора корреляционного окна. Согласно теореме Винера-Хинчина, пространственная спектральная плотность мощности преобразованием Фурье связана с взаимной корреляционной функцией, поэтому предлагается оценивать спектральную плотность мощности излучения на основе анализа нормированных коэффициентов взаимной корреляции для соседних строк (столбцов) цифрового массива ФЦИ. Принято считать: если коэффициент взаимной корреляции второй диагонали корреляционной матрицы стремится к единице, то корреляционные связи сильны или устойчивы, а если меньше 0.5, то корреляционные связи слабы или отсутствуют.

В ходе исследования корреляционных связей фонового излучения облачной атмосферы установлено, что нормированные коэффициенты взаимной корреляции соседних строк, столбцов массива изображения, находящиеся во вторых диагоналях корреляционных матриц, принимают значения в интервале [0.65–0.99]. При проведении предварительного математического моделирования по обнаружению теплового объекта на атмосферном фоне установлено, что присутствие теплового объекта в элементе массива изображения приведет к ослаблению корреляционных связей. При этом нормированные коэффициенты взаимной корреляции соседних строк, столбцов массива изображения, в которых находится изображение цели, находящиеся во вторых диагоналях корреляционных матриц, снижаются по сравнению со значениями для строк, столбцов, в которых его нет. Это явление предлагается считать признаком строк и столбцов, в которых находится отметка теплового объекта.

Анализ результатов математического моделирования подтвердил работоспособность предлагаемого способа пространственной фильтрации в обоих инфракрасных диапазонах. Вероятности обнаружения теплового объекта на атмосферном фоне при отношении сигнал/шум, равном 2, составила около 0.8. Предложенный способ не требует априорного знания статистических характеристик фона, так как он базируется на общем свойстве коррелированного атмосферного фона. Адаптивный порог учитывает особенности ФЦИ, которые имеют различные значения радиуса корреляции, и величины контраста цели на фоне атмосферных помех. Полученные на экране монитора бинарные изображения тепловых объектов позволяют определять их угловые координаты, количественный состав и другие характеристики без предварительной подготовки человека-оператора, что приводит к увеличению информационной способности и простоте эксплуатации тепловизора.

Микроспутниковые исследования новых физических явлений в атмосферных грозовых разрядах

Гарипов Г.К. (ggkmsu@yandex.ru), Свертилов С.И.
Институт ядерной физики, Ленинские горы, 119992 Москва, Россия

Готлиб В.М. (gotlib@mx.iki.rssi.ru), Зелёный Л.М., Климов С.И., Родин В.Г.
Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

Гуревич А.В., Птицын М.О. (ptitsyn@lpi.ru)
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

В настоящее время микроспутники достаточно широко используются в практике, в том числе и для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. При этом практически используется относительно узкий диапазон электромагнитных излучений видимого диапазона. Используя большой опыт фундаментальных космических исследований, ИКИ

РАН в последние 2 года прорабатывает научные программы с использованием микроспутников, ориентированные на изучение инфракрасного, ультрафиолетового, рентгеновского и гамма диапазонов не только для фундаментальных космических исследований, но и для изучения некоторых аспектов чрезвычайных ситуаций.

В последние годы обнаружен ряд новых физических явлений в атмосфере, фундаментально изменивших наше представление о грозовых разрядах. ИКИ с участием НИИЯФ МГУ, ФИАН, ЛЦ ИКД НАНУ-НКАУ (Львов, Украина), Университета Этвоша (Будапешт, Венгрия) разработали модель комплекса научных приборов (12.5 кг), включающую:

- рентген-гамма детектор (диапазон рентгеновских и гамма излучений – 50–500 кЭв);
- ультрафиолетовый детектор (диапазон ультрафиолетовых излучений – 300–450 нм);
- радиочастотный анализатор (20–50 МГц);
- камера оптического диапазона (пространственное разрешение 300 м);
- плазменно-волновой комплекс (0.1–40 кГц).

Микроспутник «Чибис-М» разрабатывается и изготавливается в ИКИ. Общая масса «Чибис-М» со служебными системами, конструкцией и научными приборами – 40 кг.

Численный эксперимент по оценке погрешностей прямого измерения длинноволнового радиационного притока тепла в приземном слое

Елисеев А.А. (ozon@peterlink.ru), Румянцев Д.В.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Известно, что для исследования радиационного переноса тепла в атмосфере необходим приемник, подобный по спектральной чувствительности объемному коэффициенту поглощения окружающего воздуха. Идеальный приёмник – это бесконечно малый объем воздуха. Приближением к идеалу, которое удалось реализовать, является селективный оптико-акустический приемник (спектрофон), где чувствительным элементом является выделенный объем воздуха порядка нескольких см³.

В докладе изложена методика и результаты оценки основных погрешностей такого приемника. Метод исследования – численный эксперимент на основе полинейного расчета поглощения. В ходе эксперимента производилось сравнение значений длинноволнового радиационного притока тепла (РПТ), рассчитанных для спектрофонов с различным содержанием водяного пара и углекислого газа в лучеприемнике при различных схематизированных условиях в атмосфере, относительно квазиидеального приемника. Квазиидеальный приемник определялся как лучеприемник с содержанием поглощающего газа настолько малым, что погрешность за счет нелинейности была пренебрежимо мала. Диапазон условий в атмосфере определялся изменением относительной роли близлежащих и удаленных источников в радиационном теплообмене с приемником, что практически проявлялось как диапазон изменения интегрального коэффициента поглощения (отношения модуля РПТ к эффективному излучению). Различие условий в атмосфере имитировалось при расчете тем, что расстояние между источником излучения и приемником задавалось различным – от 1 см до 200 метров слоя воздуха, содержащего водяной пар и углекислый газ.

Результаты исследования выявили, что наиболее значительная компонента погрешности вызвана нелинейностью поглощения радиации в центрах сильных линий и пропорциональна содержанию поглощающего газа в лучеприемнике. Так, при типичных концентрациях водяного пара и углекислого газа в тропосфере, в условиях сверхадиабатических и инверсионных стратификаций эта компонента погрешности при глубине лучеприемника 2 см может достигать 20 % и значительно уменьшается при уменьшении лучеприемника, а также при увеличении расстояния до источника излучения.

Согласно расчетным оценкам, другие оцениваемые компоненты погрешности, вызванные различием температуры и атмосферного давления в лучеприемнике и в окружающем воздухе, а также селективностью оптических окон, изготовленных из пластин германия или материала KRS-5, по величине в несколько раз меньше. В расчетах использовалась база данных HITRAN-97 для линий водяного пара и CO_2 . Спектральный диапазон задавался от 10 до 5000 см^{-1} , контур линий задавался по Лоренцу. Описанный численный эксперимент позволил приближенно оценить погрешности существующих измерителей РПТ и пути их уменьшения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант 07-05-01110)

Предварительные результаты исследования характеристик аэрозоля Каспийского моря в 29-м рейсе НИС "РИФТ"

Полькин В.В.¹ (victor@iao.ru), Кабанов Д.М.¹, Панченко М.В.¹, Сакерин С.М.¹, Турчинович С.А.¹, Шмаргунов В.П.¹, Ростов А.П.¹, Голобокова Л.П.², Ходжер Т.В.², Филиппова У.Г.², Шевченко В.П.³, Лисицын А.П.³

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Академический пр. 1, 634021 Томск, Россия

²Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

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

В рамках программы 29 рейса НИС "Рифт", осенью 2008 г. проведен цикл исследований атмосферного аэрозоля в северной части Каспийского моря. Специфика аэрозольного состава атмосферы в этом районе определялась генерацией частиц с морской поверхности, а также континентальными выносами из аридных районов Казахстана и Туркмении. С помощью портативного солнечного фотометра SPM определялись аэрозольная оптическая толщина (АОТ) и общее влагосодержание атмосферы. Фотометр работал в области спектра 0.3–2.14 мкм (14 каналов / интерференционных фильтров).

В измерениях характеристик приводного аэрозоля использовалась аэрозольная станция: модифицированный нефелометр углового рассеяния типа ФАН, автоматизированный фотоэлектрический счетчик аэрозольных частиц (на базе АЗ–5) и измеритель массовой концентрации микрокристаллического углерода (аэталометр), разработанный в лаборатории оптики аэрозоля. Измерительные циклы (продолжительностью 10 мин) проводились круглосуточно с периодичностью 0.5 час. На основе полученных данных определялись следующие характеристики: счетная концентрация частиц Na (см^{-3}) в 256 каналах в общем диапазоне размеров от 0.4 до 10 мкм по диаметру; массовая концентрация субмикронного аэрозоля Ma ($\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$); массовая концентрация микрокристаллического углерода ("сажи") MC ($\text{мкг}\cdot\text{м}^{-3}$) и распределение частиц аэрозоля по размерам.

Для определения химического состава приводного аэрозоля и газовых примесей, отбор проб проводился фильтрацией воздуха через четыре последовательно расположенных в аспираторе фильтра – тефлоновый для аэрозолей, полиамидный фильтр и импрегнированные фильтры «Whatman» с щелочной и кислой основой для сорбции газообразных частиц и двух каскадов импактора (для частиц больше и меньше 1 мкм). Химический анализ собранных проб осуществлялся в лабораторных условиях. Определялись концентрации ионов Na^+ , K^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , величина pH растворенной фракции аэрозоля. Концентрации газообразных соединений SO_2 , NO_2 , HNO_3 , NH_3 определяли расчетным методом, исходя из результата анализа соответствующих им ионов.

Исследования аэрозоля проводились по маршруту судна в секторе Астрахань–Дербент–Актау. Полный измерительный период составил 13 дней – с 8 по 20 ноября 2008 г. За это время выполнено более 500 серий измерений характеристик приводного аэрозоля. Около половины данных было удалено из дальнейшего рассмотрения после исключения ложных замеров – искажений локальными (судовыми) источниками аэрозоля. Результаты по

спектральной прозрачности атмосферы получены для 11 дней измерений, количество среднечасовых спектров АОТ – 41.

Рассмотрены характеристики приводного аэрозоля в двух экстремальных условиях – высокой прозрачности 13–14 ноября и плотной дымки 16–18 ноября. Первая ситуация, по-видимому, характеризует региональный фоновый уровень концентраций Ма, МС и На, сопоставимый с аналогичными характеристиками в акватории Белого моря. Вторая – вынос пылевого аэрозоля со стороны пустыни Каракумы, как показал анализ карт обратных траекторий за 5-дневный период. Отличительной особенностью второй ситуации являются очень высокие значения массовой и счетной концентраций преимущественно мелкодисперсного аэрозоля. Резкое увеличение значений АОТ после 15 ноября произошло на всех длинах волн, но более существенно в фиолетовой части спектра: для длины волны 0.38 мкм АОТ возросла с 0.05 до 0.45. Такая особенность является следствием преобладающего роста мелкодисперсной составляющей АОТ атмосферы. То есть, основную роль в увеличении аэрозольного замутнения в рассматриваемой ситуации играл мелкодисперсный аэрозоль. Химический анализ показал, что повышенные значения мутности атмосферы сопровождалось значительным увеличением абсолютных значений концентрации нитратов, сульфатов и аммония, а также хлоридов, натрия и калия. При этом значительно увеличилась доля субмикронной части массовой концентрации сульфатов, аммония и калия. Увеличение доли массовой концентраций грубодисперсных частиц отмечалось для ионов хлора и натрия.

Исследования ультрафиолетового излучения эритемной и бактерицидной области спектра с помощью фотодиодов на основе фосфида галлия и селенида цинка

Перевертайло В.Л. (detector@carrier.kiev.ua)

НИИ микроприборов НТК “ИМК” НАНУ, Северо-Сирецкая 3, 04136 Киев, Украина

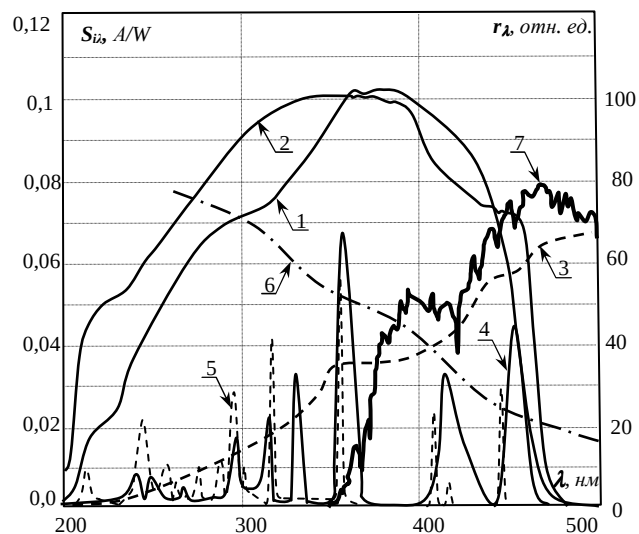
Добровольский Ю.Г., Шабашкевич Б.Г. (td_tenzor@mail.ru)

ООО НПФ «Тензор», Красноармейская 226, 58013 Черновцы, Украина

Расширение исследований ультрафиолетового излучения, как искусственного, так и естественного происхождения, предопределяет развитие и усовершенствование соответствующих оптических датчиков, в частности фотодиодов, чувствительных в ультрафиолетовом диапазоне спектра. Спектральный диапазон ультрафиолетового излучения на поверхности Земли составляет диапазон около 200–380 нм, что накладывает определенные ограничения на датчики.

Нами проведены исследования различных фотодиодов с целью выбора наилучших для использования в серийных радиометрах и дозиметрах энергетической освещенности (дозы) ультрафиолетового излучения типа Тензор-31 и Тензор-53 соответственно. Требования к параметрам фотодиодов, используемых в указанных приборах, достаточно высоки, в частности нелинейность энергетической характеристики в диапазоне 10^{-4} – 10^3 Вт/м² должна быть не более ± 1 %, а токовая монохроматическая чувствительность на длине волны 400 нм должна быть не менее 0.1 А/Вт. Из предлагаемых промышленностью разных стран были выбраны фотодиоды с барьером Шоттки (золото) на основе фосфида галлия (производство ООО Мери, С. Петербург) и фотодиоды с барьером Шоттки (никель) на основе селенида цинка (производство ГП “НИИ микроприборов” НТК “ИМК” НАН Украины, г. Киев). Типовые абсолютные спектральные характеристики фотодиодов GaP-Au (1) и ZnSe-Ni (2), а также спектры излучения Солнца за пределами атмосферы (3), произвольной ртутной лампы (4) и ртутной лампы типа ДРТ 220 (5), дейтериевой лампы (6) и Солнца на поверхности моря (7), приведены на рисунке.

Средняя величина токовой монохроматической чувствительности обоих типов фотодиодов на длине волны 400 нм примерно одинакова – 0.1 А/Вт. Однако, площадь



спектральной характеристики фотодиода на ZnSe-Ni больше, чем площадь спектральной характеристики фотодиода на GaP-Au.

В исследованиях использовались ртутная лампа ДРТ125 в составе осветителя ИДНМ4.020.00.00 (источник УФ излучения), измерительный прибор – дозиметр энергетической освещенности УФ излучения Тензор-53, – измеряющий дозу и энергетическую освещенность в эритемной (280–400 нм) и бактерицидной (200–280 нм) составляющих УФ излучения. Измерения производились на выборках по три фотодиода каждого типа. Результаты измерений приведены в таблице.

Показания энергетической освещенности и дозы, измеренных с помощью головки с фотодиодом на ZnSe, составляют, соответственно, около 75 % и 77 % в эритемной области и около 85 % и 85 % в бактерицидной области от показаний, измеренных с помощью головки с фотодиодом на GaP. Разница в полученных результатах объясняется различием спектральных характеристик фотодиодов. У одного (GaP) преобладает чувствительность в эритемной области, у второго – (ZnSe) в бактерицидной.

	Датчик	Энергетическая освещенность, Вт/м ²	Доза, Дж
Эритемная область	GaP	1.104	53
	ZnSe	0.823	41
	GaP	1.090	53
	ZnSe	0.830	44
	GaP	1.090	53
	ZnSe	0.854	43
Бактерицидная область	GaP	3.01	151
	ZnSe	2.57	129
	GaP	2.89	146
	ZnSe	2.71	135
	GaP	3.11	163
	ZnSe	2.77	140

Очевидно, общий интегральный фотосигнал, генерированный первым фотодиодом от некоего источника, должен быть больше, чем генерированный вторым. Однако в зависимости от типа источника это может быть и не так.

Результаты исследования показывают, что оба типа фотодиодов могут использоваться для комплектации радиометров и дозиметров УФ излучения, применяемых как для аттестации рабочих мест, так и для проведения метеорологических и астрономических исследований.

Результаты исследования показывают, что оба типа фотодиодов могут использоваться для комплектации радиометров и дозиметров УФ излучения, применяемых как для аттестации рабочих мест, так и для проведения метеорологических и астрономических исследований.

Зондирование тропосферно-стратосферного озона лидаром со сдвигом частоты четвертой гармоники Nd:YAG лазера на основе эффекта вынужденного комбинационного рассеяния

Яковлев С.В. (roa@iao.ru), Бурлаков В.Д., Долгий С.И., Макеев А.П., Романовский О.А., Харченко О.В.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зюева, 634021 Томск, Россия

Для лазерного зондирования вертикального распределения концентрации озона в определённых высотных диапазонах тропосферы и стратосферы методом дифференциального поглощения используются различные комбинации длин волн λ_{on} и λ_{off} . Для зондирования стратосферного слоя озона обычно используется комбинация 308 и 353 нм соответственно излучения эксимерного XeCl лазера и первой стоксовой компоненты его преобразования на основе эффекта вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) в

ячейке с водородом высокого давления. Для тропосферных измерений, где концентрация озона почти на порядок меньше, требуется большая концентрационная чувствительность лидарных измерений, т.е. необходимо переходить в более коротковолновую область УФ-спектра, где сечение поглощения озоном больше. Для подобных измерений используются различные комбинации длин волн KrF лазера (248 нм), четвертой гармоники Nd:YAG лазера (256 нм) с последующим преобразованием излучения на основе эффекта ВКР в водороде, дейтерии, двуокиси углерода.

Для исследования процессов стратосферно-тропосферного обмена нами разработан лидар дифференциального поглощения, работающий на длинах волн $\lambda_{on} = 299$ нм и $\lambda_{off} = 341$ нм, что соответствует первой и второй стоксовым компонентам ВКР преобразования излучения на 266 нм в водороде. ВКР-ячейка изготовлена из трубы (нержавеющая сталь) с внутренним диаметром 3 см и длиной 1 м. Входное и выходное окна изготовлены из кварца КУ. Энергия импульса накачки на длине волны 266 нм составляет 60 мДж. Необходимая для получения эффекта ВКР преобразования плотность мощности накачки обеспечивается линзой с фокусным расстоянием 1 м, которая устанавливается перед ВКР-ячейкой и фокусирует излучение на ее центр. После ячейки конфокально с фокусирующей линзой устанавливается коллимирующая линза. Была определена эффективность ВКР преобразования в зависимости от давления водорода в ячейке. Давление водорода в ячейке изменялось от 1 до 9 атм. Для увеличения потолка зондирования более эффективно использовать давление 1 атм, так как при этом энергетика перераспределяется в пользу линии 299 нм, которая сильнее поглощается озоном, чем линия 341 нм. Приём лидарных сигналов осуществлялся зеркалом диаметром 0.5 м. Сигналы регистрировались в режиме счета импульсов фототока по 25000 выстрелам (время накопления 30 минут). Профиль концентрации озона восстанавливался в высотном интервале 5–20 км.

В заключение можно отметить, что для зондирования озона в области высот 5–20 км лидар на основе Nd:YAG-лазера предпочтительнее, чем лидар на основе эксимерного KrF-лазера, который дороже, более сложен в эксплуатации, требует особо чистых газов для рабочей смеси, частой очистки или замены резонаторной оптики.

Совместные измерения вертикальных профилей температуры и скорости ветра в атмосферном пограничном слое

Курбатов Г.А. (gavriy@mail333.com), Юшков В.П.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2,
119991 Москва, Россия*

Миллер Е.А.

Центральная аэрологическая обсерватория, г. Долгопрудный, Россия

Современные средства дистанционного зондирования предоставляют возможность построения комплексных измерительных систем параметров атмосферного пограничного слоя (АПС). Применение на практике таких комплексов позволяет вести непрерывные наблюдения и получать данные об изменении характеристик АПС таких, как ветровая и температурная стратификация. Эти комплексы являются инструментами изучения особенностей динамики острова тепла больших городов и оценки влияния антропогенного воздействия на городскую среду [1, 2].

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова и Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ИФА) с 2005 года проводят совместные непрерывные наблюдения профилей скорости ветра, которые позволяют следить за турбулентностью и ветровой стратификацией атмосферы в воздушном бассейне города Москвы и пригороде. С 2008 года к мониторингу профилей скорости ветра были добавлены измерения профилей температуры. Аналогичные наблюдения с 2008 года проводятся на Звенигородской научной станции ИФА РАН (ЗНС ИФА РАН), расположенной в 45 км западнее от г. Москвы. Кроме измерений на

физическом факультете МГУ и ИФА РАН непрерывные измерения профилей температуры проводятся на севере города Москвы на станции ФГУП Мосэкомониторинга, в центральной части города (здание Росгидрометцентра), в 20 км севернее в городе Долгопрудный в Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО). На физическом факультете и в ИФА РАН измерения профиля скорости ветра проводятся с помощью акустического лоатора ЛАТАН-3 [3] в диапазоне высот от 50 до 300 метров. Микроволновые температурные профилемеры МТП-5 [4] измеряют профили температуры до высоты 600 м, каждые 5 минут, с разрешением по высоте в 50 метров.

В докладе будут показаны результаты непрерывных наблюдений и анализ изменений профилей скорости ветра. Представлены средние профили скорости ветра в диапазоне высот от 50 до 300 метров и частотные распределения (гистограммы) для разных сезонов, на различной высоте, распределение градиентов скоростей и направлений ветра. Также будут представлены профили температуры в диапазоне от высоты установки прибора и до 600 метров. Приводится статистическое сравнение наблюдаемых величин характеристик АПС в различных точках наблюдений.

Представлена выборочная статистика дисперсий вертикальной компоненты скорости ветра в диапазоне от 0 до 300 м и разных сезонов. Также приведено сравнение одновременных измерений скорости ветра и его вариаций (σ_w^2) в разных пунктах наблюдений. Это сравнение показывает, что в средней части АПС скорость ветра и турбулентность имеют одинаковые распределения на одной высоте, т.е. не наблюдается влияние рельефа местности. По результатам наших наблюдений при получасовом усреднении скорость ветра на высоте 150 м в районе г. Москвы составляет всего 4 м/с. При таком усреднении на этой высоте скорости ветра больше 10 м/с очень редки и их длительность не превышает одной серии измерений (30 минут). Уменьшение времени осреднения позволяет отмечать более редкие порывы ветра большей силы, но не изменяет распределение ветров в измеряемом временном диапазоне от 5 до 120 минут. Сравнение значений модуля скорости ветра в разных точках наблюдения показывает, что влияние городского острова тепла имеет вертикальный масштаб, сравнимый с влиянием орографии. В тоже время характер распределений приземных инверсий температуры во многом подобен.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 08-05-00984, 07-05-13610).

1. Кадыгров Е.Н., Кузнецова И.Н., Голицын Г.С. Остров тепла в пограничном слое атмосферы над большим городом: новые результаты на основе дистанционных данных. *ДАН АН*, 2002, **385**, 4, 541–548.
2. Khaikine M.N., I.N. Kuznetsova, E.N. Kadygrov, E.A. Miller. Investigation of thermal-spatial parameters of an urban heat island on the basis of passive microwave remote sensing. *Theor. Appl. Climatology*, 2006, **84**, 1–3, 161–169.
3. Кузнецов Р. Д. Акустический лоатор ЛАТАН-3 для исследований атмосферного пограничного слоя. *Оптика атм. океана*, 2007, **20**, 8, 749–753.
4. Kadygrov E.N., Pick D.R. The potential for temperature retrieval from an angular-scanning single-channel microwave radiometer and some comparison with in situ observations. *Meteor. Appl.*, 1998, 5, 393–404.

Самолёт-лаборатория РОСГИДРОМЕТа – оборудование для комплексного исследования атмосферной радиации

Борисов Ю.А. (borisov@cao-rhms.ru), Фомин Б.А. (b.fomin@mail.ru)

Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

На самолёт-лабораторию ЦАО (ввод в действие 2011 г.) устанавливается наиболее точное на данный момент актинометрическое оборудование (фирмы Kipp&Zonen): пиранометры CMP 22, пиргеометры CGR4 и ультрафиолетометр UV-S-B-T/C для измерения интегральных потоков солнечной и тепловой радиации из нижней и верхней полусфер с точностью около 1 %. Важно отметить, что другое оборудование самолёта-лаборатория позволяет проводить, одновременно с актинометрическими, контактные и дистанционные (лидаром, лоатором и СВЧ радиометром) измерения концентрации и профиля основных

парниковых газов, спектров и состава аэрозольных и облачных частиц, распределений аэрозоля в толще тропосферы и стратосферы, и т.п. Вся информация накапливается и частично обрабатывается в Бортовом Информационно-Вычислительном Комплексе (БИВК).

Таким образом, самолёт-лаборатория будет обладать потенциальной возможностью получения качественно новой и достаточно полной информации об атмосферных радиационных процессах. Но это потребует развития адекватных методов обработки и анализа получаемой информации, а также методов моделирования атмосферной радиации, позволяющих адекватно учитывать получаемую информацию в МОЦА. Эти трудные задачи не представляются невыполнимыми благодаря недавним успехам в теории переноса атмосферной радиации. Тем не менее, они потребуют значительных усилий многих специалистов и организаций, вопросы координации которых также предполагается обсудить во время доклада. Следует отметить перспективность применения данного самолёта-лаборатории и для валидации спутниковых методов зондирования атмосферы, что также предполагается обсудить.

Ультрафиолетовые детекторы на основе ZnSe(Te,O) для измерения мощности излучения в диапазонах УФА, УФВ и УФС

Перевертайло В.Л. (detector@carrier.kiev.ua), Тарасенко Л.И., Перевертайло А.В., Шкиренко Э.А., Попов В.М., Поканевич А.П., Мацкевич В.М.

НИИ микроприборов НТК “ИМК” НАНУ, Северо-Сирецкая 3, 04136 Киев, Украина

Фотоприемники на селениде цинка (ZnSe) по сравнению с другими широкозонными полупроводниками имеют более широкий спектр fotocувствительности в УФ области, который перекрывает поддиапазоны УФА (315–400 нм), УФВ (280–315 нм) и УФС (200–280 нм). Например, для разработанного нами фотодиода с барьером Шоттки Ni-ZnSe(Te)-In во всех трех диапазонах наблюдается относительно высокая спектральная чувствительность – если максимальное значение, которое показывает прибор в УФА принять за 100 %, то в УФВ – (80–100) %, а в УФС – (60–80) % от максимального значения. Такая характеристика, с одной стороны, обеспечивает высокую интегральную чувствительность при регистрации излучения во всем УФ диапазоне и высокий сигнал, а, с другой стороны, позволяет с помощью фильтров выделять несколько узких полос в УФ спектре и в каждой из них работать с высоким значением чувствительности, близким к максимальному значению как в длинноволновой, так и в коротковолновой области спектра, что очень важно в случае использования детектора в селективных узкополосных УФ радиометрах и дозиметрах, когда важно иметь информацию о мощности УФ излучения и дозе, полученной в определенных узких полосах УФ спектра УФА и УФВ. Абсолютная спектральная чувствительность вблизи максимума имеет значение 0.1–0.15 А/Вт. Высокая fotocувствительность детектора в широком спектральном диапазоне позволяет разработать и использовать для УФ дозиметров-радиометров детекторы с малыми размерами фотоактивной области, например 4 x 4 мм и даже 1 x 1 мм, что позволяет снизить стоимость и габариты прибора.

При изготовлении диодов Шоттки в качестве полупрозрачного металлического электрода была использована сверхтонкая пленка Ni толщиной 8–10 нм, нанесенная на подложку из ZnSe методом вакуумного напыления. На обратную сторону подложки наносился In контакт. Типовые параметры УФ детекторов, изготовленных по технологии формирования барьера Шоттки на основе структуры Ni-ZnSe(Te)-In и имеющих различную фотоактивную площадь, приведены в таблице ниже.

Тип	Фотоактивная область, мм ²	Чувствительность, А/Вт ($\lambda = 400$ нм)	Темновой ток, нА ($U_{смещ.}=0.1$ В)	Емкость, нФ ($f=10$ кГц)
УФД-04-16 (ТО-5)	11.33 (d = 3.8 мм)	0.1	0.1–1	4–8
УФД-01-1 (КТ-1)	1 (1 x 1 мм)	0.1	0.01–0.1	0.12–1

Малые размеры детекторов в свою очередь позволяют при необходимости использовать в индивидуальном (карманном) приборе для радиометрии-дозиметрии не один, а два (или даже три) детектора с возможностью получения информации отдельно в каждой из полос УФ спектра (УФА, УФВ и УФС) при сохранении приемлемых габаритов дозиметра.

Проведенные нами измерения спектральных характеристик представленных выше УФ фотодиодов Ni-ZnSe(Te)-In с различными фильтрами в области УФ диапазона, в частности с фильтрами на основе стекол УФС-2, УФС-6 и с интерференционными фильтрами на диапазон УФС, показали возможность получения на их основе энергоселективных детекторов в различных диапазонах УФ спектра. УФ детекторы на основе ZnSe благодаря широкой запрещенной зоне обладают высокой термостабильностью (температурный коэффициент чувствительности $< 0.1 \text{ \%}/\text{K}$). Другим их достоинством является высокая линейность энергетической характеристики (нелинейность энергетической характеристики в диапазоне 10^{-4} – $10^3 \text{ Вт}/\text{м}^2$ не более $\pm 1 \text{ \%}$).

Таким образом, УФ детекторы на основе ZnSe позволяют реализовать многодиапазонные (двух-, трех- и более) как профессиональные селективные радиометры-дозиметры, так и индивидуальные приборы для контроля полученной солнечной УФ радиации или дозы облучения техногенными источниками. Благодаря своим характеристикам они могут быть применены в медицине, биологии, охране окружающей среды, метеорологии, космической и военной технике.

Работа выполнена при поддержке Украинского научно-технологического центра (УНТЦ проект № 4115).

Космические акустооптические спектрометры ИК диапазона

Киселев А.В. (kiselevav@umail.ru), Кораблев О.И. (drion@irn.iki.rssi.ru)

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

В данном докладе представлен обзор созданных и перспективных ИК спектрометров для исследования атмосферы и поверхности планет, имеющих в своем составе монохроматор на основе акусто-оптического перестраиваемого фильтра (АОПФ). Среди них – успешно работающий с 2003 года в космосе СПИКАМ-ИК (проект Марс-Экспресс), который представляет собой монохроматор-поляризатор на основе АОПФ, СПИКАВ-ИК и СУАР (проект Венера-Экспресс); в последнем АОПФ используется для селекции порядков в эшелес-спектрометре, а также готовящиеся приборы "РУСАЛКА", "ОРАКУЛ" и "МирОМЕГА" (проект ЭкзоМарс). В последнем предполагается использовать АОПФ для фильтрации изображения и обеспечить его работоспособность при температурах вплоть до -150°C .

Гибкость электронной перестройки АОПФ позволяет получать любые участки спектра и в любой последовательности без передачи всего спектра целиком. Его высокое быстродействие и светосила позволяют сократить время измерения и соответственно повысить пространственное разрешение приборов для спутниковых измерений атмосферных газов, изотопных соотношений, малых составляющих, а также подстилающей поверхности. Радикальное уменьшение габаритов и массы прибора при полном отсутствии в его составе движущихся частей, а также нетребовательность к термостабилизации для оптического блока благоприятствует его использованию на микроспутниковых платформах. Этому также способствует устойчивость АОПФ к перегрузкам и вибрации, например, в случае использования на посадочных аппаратах.

В работе приводятся сравнительные характеристики приборов и особенности конструкции.

Опережающая коррекция турбулентных искажений в лазерном пучке по измерениям датчиком Гартмана параметров турбулентности и скорости ветра

Антошкин Л.В., Лавринов В.В. (lvv@iao.ru), Лавринова Л.Н., Лукин В.П.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зueva, 634021 Томск, Россия

Распространение лазерного излучения через атмосферу сопровождается изменениями как самого излучения под влиянием атмосферы, так и атмосферной турбулентности на трассе распространения под воздействием излучения. Взаимное влияние излучения и турбулентности представляет случайный неоднородный процесс.

Коррекция турбулентных искажений посредством адаптивной системы обеспечивает оптимальную фокусировку излучения для искажений, определенных в предыдущий момент времени. Анализ поведения турбулентности в течение некоторого времени позволит сделать прогноз о турбулентных искажениях в следующий момент времени и использовать его, внося поправку в распределение фазы излучения. Оценки параметров турбулентности и поперечной составляющей скорости ветра могут быть получены на основе того же датчика волнового фронта, поскольку и определение значений фазовой поверхности, и расчет характерных параметров турбулентности предполагают знание одних и тех же исходных данных: координат фокальных пятен. Кроме того, увеличение быстродействия и точности АОС может быть достигнуто за счет опережающей подготовки профиля поверхности корректирующих гибких зеркал системы, основанной на прогнозе состояния волнового фронта в следующий момент времени по параметрам турбулентности и ветра из данных предыдущего измерения. Это дает возможность в пределах времени неизменности атмосферы, т.е. времени, в течение которого значения фазовых искажений не меняются, формировать поверхность корректирующего зеркала (рельеф волнового фронта, перемещающийся по зеркалу синхронно с ветром) в промежутках между измерениями волнового фронта, что позволяет использовать в АОС видеокамеры с не очень высоким быстродействием.

Идея опережающей коррекции турбулентных искажений реализована в виде оригинальных численных алгоритмов и частично апробирована при интерпретации тестовых измерений.

1. Antoshkin L.V., Botygina N.N., Emaleev O.N., Lavrinov V.V., Lavrinova L.N., Lukin V.P. Measurement of turbulence parameters and wind speed on basis differential method. *Proc. SPIE*, 2007, **6936**, 69360E.
2. Антошкин Л.В., Лавринов В.В., Лавринова Л.Н., Лукин В.П. Дифференциальный метод в измерении параметров турбулентности и скорости ветра датчиком волнового фронта. *Оптика атмосф. и океана*, 2008, **21**, 1, 75–80.
3. Antoshkin L.V., Konyaev P.A., Lavrinov V.V., Lavrinova L.N., Lukin V.P. Numerical modeling of monitoring of atmospheric turbulence and wind speed on basis of Hartman sensor. *XV Int. Symp. on Atm. and Ocean Optics. Atmospheric Physics*. Krasnoyarsk, June 22–28, 2008, 66.
4. Антошкин Л.В., Коняев П.А., Лавринов В.В., Лавринова Л.Н., Лукин В.П. Адаптивная коррекция и обработка изображений в датчике Гартмана. Межвуз. сб. науч. трудов. *Методы и устройства передачи и обработки информации*, 2008, вып.10, 187–195.

Ультрафиолетовый озонный спектрометр УФОС и результаты измерений

Соломатникова А.А. (pulsin@mail.ru), Привалов В.И., Шаламянский А.М.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Для переоснащения озонометрической сети Росгидромета разработан ультрафиолетовый озонный спектрометр (УФОС), предназначенный для комплексных измерений спектрального состава ультрафиолетовой радиации (УФР) и общего содержания озона (ОСО). Спектральный блок прибора представляет собой полихроматор на

дифракционной решетке с ПЗС линейкой, выделяющий спектр радиации в диапазоне от 280 до 420 нм, с разрешением около 1 нм. В зависимости от уровня приходящей радиации время регистрации спектра может варьироваться, начиная от 0.05 сек.

УФОС представлен в двух модификациях – зенитной и обсерваторской. В зенитной модификации УФОС регистрирует спектральный состав УФР от полусферы неба (суммарная УФР) и, для определения ОСО, спектр радиации из сектора 15° в зените неба. Обсерваторская модификация УФОС дополнена малогабаритным устройством автоматического наведения на Солнце, которая позволяет проводить измерения спектрального состава прямой УФР и определять ОСО по прямому солнечному свету. При измерениях спектрального состава прямой солнечной радиации УФОС в обсерваторской модификации появляется возможность определения спектрального распределения оптической плотности аэрозоля.

УФОС полностью соответствует требованиям ВМО к спектральным приборам, предназначенным для измерений УФР и ОСО (спектральный диапазон, разрешение по спектру и пр.), а по быстродействию значительно превосходит зарубежные аналоги, например по времени регистрации спектра. Помимо этого, УФОС на порядок дешевле аналогичных импортных приборов.

В докладе рассмотрены способы и результаты калибровки УФОС для измерений ОСО и калибровки измерений УФР в абсолютной шкале (калибровка по эталонному источнику излучения, калибровка в высокогорных условиях по излучению Солнца). Натурные испытания экспериментальных образцов УФОС проходят на озонметрических станциях Воейково, Мурманск, Цимлянск. Представлены некоторые результаты измерений спектрального состава УФР и ОСО. Приведены результаты сравнений со спектрофотометром Брюера и датчиками УФ радиации Kirr & Zopen, проведенных в сентябре 2006 г. на высокогорной станции ИФА (Шаджатмаз).

СЕКЦИЯ 7. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН, МАКРОЦИРКУЛЯЦИЯ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АТМОСФЕРАХ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ПЛАНЕТ

Председатель: д.ф.-м.н. А.И. Погорельцев (РГГМУ, СПб)

Сопредседатели: акад. В.П. Дымников (ИВМ РАН, Москва), д.ф.-м.н. Н.М. Гаврилов (СПбГУ, СПб).

Исследование динамики стратосферы Арктики в зимние сезоны 2002–03 и 2004–05 гг.

Варгин П.Н. (p_vargin@mail.ru), Цветкова Н.Д., Юшков В.А.

Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Межгодовая изменчивость циркуляции стратосферы Арктики и Антарктики в зимние сезоны зависит главным образом от возникновения Внезапных Стратосферных Потеплений (ВСП), наиболее сильные из которых (Главные ВСП) приводят к быстрому и значительному увеличению температуры полярной стратосферы, замедлению и изменению направления зонального ветра, ослаблению стратосферного полярного вихря и его смещению от полюса или разделению, а также усилению средней меридиональной циркуляции. Возникновение ВСП связано с взаимодействием распространяющихся из тропосферы в стратосферу планетарных волн и зональной циркуляции [1]. В последние годы на основе анализа данных и результатов моделирования установлено, что связанные с ВСП изменения динамики могут распространяться через всю тропосферу высоких и средних широт и, в некоторых случаях, приводить к аномальным погодным условиям (например, [2]).

На основе анализа глобальных ежедневных данных НСЭП реанализа проведено исследование динамики стратосферы Арктики (включая особенности распространения планетарных волн) в течение зимних сезонов 2002–03 и 2004–05 гг. Сезон 2002–03 гг. характеризовался рекордно холодными температурами начала зимы, за которыми последовала серия ВСП, включая Главное ВСП в середине января 2003 г. В результате стратосферный полярный вихрь был значительно ослаблен и зависящее от температуры разрушение озонового слоя внутри вихря за весь зимний сезон было значительно меньшим, чем зимой 2004–05 гг. (являющейся примером «холодных» зим в Арктике), когда ВСП не наблюдалось и низкие температуры сохранялись в течение всей зимы.

Для анализа распространения планетарных волн были вычислены трехмерные вектора Пламба [3]. При осреднении по долготе вектора Пламба соответствуют двумерным векторам Элиассена–Пальма. Показано, что наблюдавшееся в ходе Главного ВСП в январе 2003 г. усиление двух антициклонов над северо-востоком Атлантического и Тихого океана, сопровождавшееся усилением распространения планетарных волн из тропосферы в стратосферу, могло быть связано с двумя волновыми пакетами, возникшими в тропосфере тропиков в областях с сильной конвекцией над юго-восточной Азией и центральной частью Тихого океана в начале января 2003 г. Возникновение волновых пакетов в областях с повышенной конвекцией в тропиках исследовалось, например, в [4]. Области с сильной конвекцией в тропиках в январе 2003 г. были выявлены как отрицательные аномалии (от соответствующих средних значений за период 1979–1995 гг.) уходящей длинноволновой радиации в течение 10 суток. Аналогичный механизм усиления распространения планетарных волн из тропосферы в стратосферу в высоких широтах в ходе впервые зарегистрированного в Антарктике Главного ВСП в сентябре 2002 г. исследовался в [5, 6]. Дальнейшее изучение способствующих возникновению ВСП факторов в Арктике и Антарктике имеет важное значение для улучшения понимания динамических процессов средней атмосферы и их наблюдаемых и предполагаемых изменений вследствие как естественных, так и антропогенных факторов.

Исследование проведено при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (грант 3095).

1. Matsuno, T. A dynamical model of stratospheric sudden warming. *J. Atmos. Sci.*, 1971, 28, 1479–1494.

2. Kodera K., Mukougawa H., Itoh S. Tropospheric impact of reflected planetary waves from the stratosphere. *Geophys. Res. Lett.*, 2008, **35**, L16806.
3. Plumb, R.A. On the Three-Dimensional Propagation of Stationary Waves. *J. Atmos. Sci.*, 1985, **42**, 217–229.
4. Sardeshmukh, P. D. Hoskins, B. J. The generation of global rotational flow by steady idealized tropical divergence. *J. Atmos. Sci.*, 1988, **45**, 1228–1250.
5. Nishii, K., Nakamura, H. Tropospheric influence on Antarctic ozone hole split 2002. *Geophys. Res. Letters*, 2004, **31**, 2004L019532.
6. Peters, D., P. Vargin, H. Kornich. A Study of the Zonally Asymmetric Tropospheric Forcing of the Austral Vortex Splitting During September 2002. *Tellus*, 2007, **59A**, 384–394.

Пространственная структура планетарных волн и крутильных колебаний в атмосфере Земли

Мордвинов В.И. (v_mordv@iszf.irk.ru), Иванова А.С., Девятова Е.В.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

В работе исследована пространственная структура крутильных колебаний – вариаций средней зональной скорости с характерным временем около 15 суток, распространяющихся в тропосфере вдоль меридиана с групповой скоростью длинных волн Россби. Три особенности заставили обратить на крутильные колебания особое внимание: 1) колебания часто возникали в узкой области вблизи полюсов, 2) «траектории» колебаний на диаграмме «широта-время» можно было проследить в обоих полушариях, 3) при пересечении полярнофронтовых зон крутильные колебания вызывали вариации индексов Арктической и Антарктической осцилляций.

В совокупности все эти особенности предполагают некоторую исключительность рассмотренных возмущений, раскачка которых, вероятно, каким-то образом связана с циркуляцией атмосферы в полярной области. Анализ вертикальной структуры колебаний показал, что возмущения чаще всего начинаются на нижних уровнях в высоких широтах и лишь при достижении полярнофронтовой зоны становятся баротропными. Этот факт плохо согласуется с традиционными механизмами раскачки струйных течений в верхней тропосфере.

Для исследования пространственной структуры колебаний был использован метод одноточечных корреляций со сдвигом во времени, что позволяло разделить бегущие и стационарные волны. Анализировались поля коэффициентов корреляции вариаций зональной скорости и высоты изобарической поверхности H500 в узлах сетки относительно вариаций зональной компоненты скорости вдоль широтного круга 550° с.ш. Структура колебаний оказалась различной в разных секторах северного полушария. В Северной Атлантике и Западной Европе преобладали стационарные волны с характерным периодом около 15 суток, с которыми были связаны возмущения, распространявшиеся вдоль побережья Северного Ледовитого океана. Квазистационарные колебания и волны, бегущие вдоль тихоокеанского побережья Азии, были выделены над северной частью Тихого океана.

Основным источником крутильных колебаний, видимо, были возмущения над восточной частью Азии. Эти возмущения возникали над северным побережьем Сибири и распространялись затем в юго-восточном направлении. После выхода к побережью Тихого океана возмущения порождали волны, распространявшиеся вдоль побережья к северу. К сожалению, не удалось установить, что же было непосредственным источником возмущений над северным побережьем Сибири. Для этого района, как известно, характерна повышенная интенсивность низкочастотной изменчивости. Анализ стратосферных данных выявил глобальную картину динамики возмущений, в общем, согласованную с картиной распространения возмущений в тропосфере.

Сопоставление с результатами модельных расчетов показало, что пространственная структура и динамика возмущений, ответственных за крутильные колебания, напоминают наиболее неустойчивые баротропные моды, обусловленные раскачкой струйных течений над

Атлантикой и Тихим океаном. Однако период возмущений гораздо меньше периода неустойчивых баротропных мод. Возможно, важная роль в раскачке и динамике возмущений принадлежит взаимодействию баротропных и бароклинных мод колебаний.

Моделирование квазидвухлетних колебаний зонального ветра в модели общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН

Кулямин Д.В. (kulyamind@mail.ru), Дымников В.П.

Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 119991 Москва, Россия

Доклад посвящен проблеме создания модели тропосферы-стратосферы-мезосферы высокого пространственного разрешения, реализующей важные с точки зрения описания верхних слоёв атмосферы физические процессы типа квазидвухлетних колебаний циркуляции в стратосфере (КДК) и полугодовых колебаний циркуляции в мезосфере. Первая часть доклада описывает исследование сложного механизма формирования КДК через взаимодействие различных типов волн со средним течением. С помощью малопараметрических моделей, описывающих взаимодействие планетарных волн и коротких гравитационных волн со средним потоком, исследовались условия реализации КДК в моделях общей циркуляции, а также свойства возбуждаемых колебаний в зависимости от волновых параметров.

Вторая часть доклада посвящена реализации КДК в модели общей циркуляции ИВМ РАН. С целью выполнения в модели общей циркуляции условий формирования КДК была создана новая версия модели ИВМ РАН с высоким пространственным разрешением (2° по широте, 2.5° по долготе, 80 уровней по вертикальной координате). Проведенные контрольные численные эксперименты по воспроизведению данной моделью современного климата показывают, что она удовлетворительно воспроизводит основные климатические характеристики атмосферы – распределения полей ветра, температуры, давления, осадков, уровня волновой активности в средних широтах и экваториальной зоне и др. На основе результатов исследования механизмов реализации КДК с помощью малопараметрических моделей выделены ключевые параметры, обуславливающие характеристики колебаний экваториальной скорости в модели. В новой модели успешно воспроизведены квазидвухлетние колебания стратосферной циркуляции и полугодовые колебания мезосферной циркуляции с характеристиками, близкими к реально наблюдаемым.

Динамика бароклинных волн Иди в геострофическом течении с вертикальным и горизонтальным сдвигами

Калашник М.В. (ingeli@obninsk.ru)

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Задача о неустойчивости геострофического потока с постоянным вертикальным сдвигом скорости впервые была рассмотрена в работе Иди [1]. В рамках квазигеострофического приближения Иди определил параметры специального класса неустойчивых мод дискретного спектра с нулевой потенциальной завихренностью (волн Иди). Было показано, что они хорошо согласуются с параметрами атмосферных циклонических возмущений в средних широтах (длина наиболее неустойчивой волны порядка 4000 км, время удвоения амплитуды порядка 3 суток). Впоследствии разными авторами рассматривались различные обобщенные постановки задачи Иди. В рассмотрение принимались бета-эффект, сжимаемость, нелинейные эффекты. Далеко не полный список публикаций, посвященных этой классической задаче теории бароклинной неустойчивости, можно найти в известных монографиях и обзорах [2, 3].

В настоящей работе рассмотрен один из вариантов задачи Иди – задача о неустойчивости геострофического течения с постоянными вертикальным и горизонтальным

сдвигами. Для решения задачи использован немодальный подход, основанный на описании динамики возмущений в полулагранжевой (движущейся вместе с потоком) системе координат [4]. Показано, что учет горизонтального сдвига приводит к появлению качественно новых особенностей динамики. Основная особенность связана с эффектом временного экспоненциального роста неустойчивых волн Иди, т.е. роста на конечном временном промежутке. Данный эффект проявляется в смене динамического режима колебаний режимом экспоненциального (взрывного) роста конечной продолжительности. Подобное поведение представляет собой новый, ранее не изученный, механизм реализации бароклинной неустойчивости, с которым, по-видимому, можно связать описанные в литературе случаи "взрывного циклогенеза" – быстрого углубления малоподвижных циклонов.

В работе дана кинематическая интерпретация эффекта временного экспоненциального роста, связанная с прохождением зависящего от времени волнового вектора возмущения через область экспоненциальной неустойчивости, существующей в отсутствие горизонтального сдвига. Показано, что в математическом плане этот эффект описывается дифференциальным уравнением второго порядка для амплитуды возмущения геострофической функции тока, которое содержит точки поворота или возврата. Решение соответствующего уравнения представлено в терминах функций Эйри. Наряду с динамикой отдельных волн Иди, исследован также процесс генерации этих волн начальным возмущением, заданным одной пространственной фурье-гармоникой. Показано, что этот процесс сопровождается возбуждением немодальных волн, с изменяющимися во времени горизонтальными и вертикальными волновыми числами, и потенциальной завихренностью, отличной от нуля. Взаимодействие немодальной волны с фоновым потоком приводит к алгебраическому росту волны Иди на начальной стадии циклогенеза.

Отметим, что описанные в работе особенности динамики не связаны со спецификой квазигеострофического приближения. Так, эффект временного экспоненциального роста возмущений обнаружен в недавних исследованиях устойчивости горизонтально-неоднородных сдвиговых течений в рамках полных (нефильтрованных) уравнений [4]. Включение этого эффекта в различные слабонелинейные теории волн – актуальная и еще нерешенная задача.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 07-05-92211-НЦНИЛ_a).

1. Eady E.T. Long waves and cyclone waves. *Tellus*, 1949, **1**, 3, 35–52.
2. Pedlosky J. *Geophysical Fluid Dynamics*. Springer-Verlag: Berlin and N.Y., 1987, 710 p.
3. Pierrehumbert R., Swenson K. Baroclinic instability. *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 1995, **27**, 419–467.
4. Kalashnik M.V., Mamatsashvili G.R., Chagelishvili G.D., Lominadze J.G. Linear dynamics of non-symmetric perturbations in geostrophic flows with a constant horizontal shear. *Quart. Journ. Roy. Met. Soc.*, 2006, **132**, 615, 505–518.

Захваченные инерционно-гравитационные волны в районах атмосферных фронтов и струйных течений

Калашник М.В. (ingeli@obninsk.ru)

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Данные метеорологических наблюдений показывают, что в районах атмосферных фронтов и струйных течений наблюдаются интенсивные волновые движения – инерционно-гравитационные волны. Для объяснения этого факта предлагались физические механизмы, связанные с процессом нелинейного геострофического приспособления, гидродинамической неустойчивостью струйных течений. В данной работе рассмотрен еще один механизм, связанный с существованием так называемых захваченных инерционно-гравитационных волн. Подобные волны представляют собой осциллирующие с постоянной частотой возмущения, локализованные внутри слоя сдвига скорости струйного течения. В предшествующих работах [1, 2] структура захваченных волн изучалась с использованием

ряда упрощающих приближений (приближение геометрической оптики, гидростатическое приближение). В данной работе представлен анализ, основанный на решении полных линеаризованных уравнений гидродинамики.

В теоретическом исследовании рассмотрено баротропное геострофическое сдвиговое течение в слое несжимаемой стратифицированной жидкости с постоянными частотой Брента и инерционной частотой. Для амплитуды волновых симметричных возмущений (не зависящих от координаты вдоль потока) из линеаризованной системы уравнений динамики сформулировано линейное дифференциальное уравнение второго порядка. При качественном анализе соответствующее уравнение записывается в форме уравнения Шредингера, однако, с более сложной зависимостью от спектрального параметра. При такой записи захваченные волны аналогичны связанным состояниям в квантовой механике; им отвечает дискретный спектр уравнения Шредингера. Из проведенного анализа следует, что расположение области захвата возмущений определяется ориентацией сдвига и стратификацией. Так, если частота Брента больше инерционной частоты, захват происходит в области антициклонического сдвига, если меньше – в области циклонического сдвига. Соответственно, в первом случае частоты захваченных волн меньше инерционной частоты, во втором – больше.

В работе получены точные аналитические решения спектральной задачи для треугольной струи и гиперболического слоя сдвига. Показано, что как при циклоническом, так и антициклоническом сдвиге, число захваченных волн растет с увеличением номера вертикальной моды, т.е. наиболее эффективно захват проявляется на малых вертикальных масштабах. Представлены численные оценки, иллюстрирующие сильную зависимость числа захваченных волн от частоты Брента N . Так при $L = 500$ км, $H = 10$ км, $U = 10$ м/с, $f = 10^{-4}$ с⁻¹, $N = 10^{-2}$ с⁻¹ существует ровно одна захваченная волна с периодом колебаний около 18 часов. При том же наборе параметров и нейтральной стратификации $N = 0$ существует уже ровно 70 захваченных волн.

Теоретические результаты, подробно изложенные в [3], сопоставлены с данными наблюдений волновой активности в районах атмосферных струйных течений, представленными в работе [4]. Полученное в этой работе смещение максимума распределения волновой активности в область антициклонического сдвига объясняется развитой теорией захваченных волн.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 07-05-92211-НЦНИЛ_a).

1. Kunze E. Near-inertial wave propagation in geostrophic shear. *J. Phys. Oceanogr.*, 1985, **15**, 5, 544–565.
2. Plougonven R., Zeitlin V. Lagrangian approach to geostrophic adjustment of frontal anomalies in a stratified fluid. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.*, 2005, **99**, 101–135.
3. Калашник М.В. Захваченные симметричные возмущения во вращающихся сдвиговых течениях. *Изв. РАН, ФАО*, 2008, **44**, 6, 848–855.
4. Plougonven R., Teitelbaum H., Zeitlin V. Inertia gravity wave generation by the tropospheric midlatitude jet as a given by the Fronts and Atlantic Storm-Track Experiment radio soundings. *J. Geophys. Res.*, 2003, **108**, D21, 1–18.

Межгодовая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы

Савенкова Е.Н. (savenkova.en@mail.ru), Погорельцев А.И.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196
Санкт-Петербург, Россия

Анализ данных наблюдений средней атмосферы показывает, что существует достаточно сильная межгодовая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции стратосферы. В среднем за много лет весенняя перестройка происходит в середине апреля, но иногда – очень рано (середина марта) или очень поздно (начало или даже середина мая). В данной работе на основе анализа данных, ассимилированных в моделях UK Met Office и

NCER, проанализирована межгодовая и климатическая изменчивость сроков весенней перестройки циркуляции в Северном полушарии.

В качестве характеристики среднезонального потока использовался геострофический ветер, рассчитанный по данным о геопотенциальной высоте для уровня 10 гПа на широте 62.5° N. Для определения средней (климатической) даты перестройки циркуляции сезонный ход ветра усреднялся за все годы, и рассчитывалась средняя скорость изменения ветра в течение рассматриваемого временного интервала (март–май). Дата перестройки циркуляции определялась по положению во времени максимального значения абсолютной величины временного (отрицательного) градиента, характеризующего скорость изменения циркуляции. Рассчитанная таким образом средняя дата перестройки (7 апреля по данным UK Met Office) была более ранней, чем дата, рассчитываемая традиционно по моменту смены знака зонального ветра. Однако предлагаемое определение даты перестройки позволило однозначно определять сроки перестройки (в отдельные годы наблюдаются осцилляции ветра со сменой знака в рассматриваемый временной интервал и традиционный способ определения даты перестройки дает неоднозначные значения). Даты перестройки циркуляции за отдельные годы определялись по временному сдвигу сезонного хода ветра по отношению к климатическому, при котором невязка между этими величинами была минимальной.

Результаты проведенного анализа показали, что в последние десятилетия имеется тенденция сдвига срока весенней перестройки на более поздние значения и имеется заметная зависимость сроков перестройки от фазы квази-двухлетних колебаний скорости зонального потока в низких широтах.

Работа была выполнена при частичной поддержке по гранту национальной программы «Развитие научного потенциала высшей школы», фиксируемой Министерством образования и науки Российской Федерации, а также грантом РФФИ № 08-05-00774.

Точность описания характеристик атмосферного пограничного слоя в региональной модели по данным дистанционных наблюдений

Смирнова М.М. (marj_a@mail.ru), Рубинштейн К.Г., Юшков В.П.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2, 119991 Москва, Россия

Проведено сравнение вертикальных профилей ветра и температуры в атмосферном пограничном слое (АПС), получаемых в прогнозах региональной модели WRF (Weather Research Forecast – Исследовательский Прогноз Погоды), и данных измерений на метеорологической мачте в Обнинске и на Останкинской башне, и данных дистанционного зондирования акустическими содарами ИФА РАН и МГУ и температурными профилемерами МГУ и Гидрометцентра России.

Горизонтальное разрешение модели составляет 2 км. Сетка охватывает область примерно 250 на 250 км с центром в г. Москва. По вертикали модель имеет 41 уровень, из них 15 находится в атмосферном пограничном слое до высоты примерно 1 км. Было произведено несколько серий прогнозов, для июля 2005, января 2006 и февраля 2007 года. Каждая серия содержала примерно 30 прогнозов (1 месяц). Каждый прогноз осуществлялся на 60 часов. Были объединены прогнозы одной заблаговременности. Для нескольких эпизодов осуществлялись расчеты с использованием разных параметризацией АПС. С наблюдениями сравнивались модельные данные с узла сетки, ближайшего к точке измерений. Результаты прогнозов интерполированы на уровни наблюдений.

Сравнение температуры по наблюдениям и модели с различными конфигурациями показывает, что модель воспроизводит основные характерные особенности временного хода температуры. Абсолютная ошибка определения температуры в АПС составляет около 1–2° С. Эта ошибка уменьшается с высотой. Прогноз на вторые сутки имеет примерно ту же

точность, что и на первые. Ошибка примерно одинакова и в дневные, и в ночные часы, исключение составляет температура у поверхности земли: ее прогноз оказывается существенно лучше для дня, чем для ночи. Разность между модельной температурой и измеряемой в основном положительна зимой – модель несколько завышает температуру в АПС. Летом же модель незначительно занижает температуру.

Приземный градиент температуры зимой в городе оказывается больше в модели, чем по данным измерений. Это может быть связано с отсутствием городского подогрева в модели. Использование некоторых параметризаций ведет к появлению нереально больших инверсий ночью. В то же время, модель в другом варианте достаточно реалистично описывает суточный ход приземного градиента температуры летом за городом, в городе же приземный градиент температуры имеет существенные расхождения между моделью и наблюдениями.

Ситуация с прогнозом скорости ветра неоднозначна, ошибка в его определении сильно меняется от эпизода к эпизоду. При этом модель достаточно хорошо воспроизводит дневные профили ветра выше 150 м, а ночные имеют существенные расхождения с данными наблюдений. Ветер до высот 300 м завышается моделью. Средняя разность между модельным и наблюдаемым ветром составляет 1–2 м/с. Такое различие особенно заметно в нижней части АПС, где большие скорости ветра редки. Но и на уровнях 200–300 м скорость ветра может завышаться моделью до 7 м/с.

В ходе работы рассчитаны статистические оценки прогноза моделью инверсий температуры, типов стратификации атмосферы, средние профили скорости ветра по данным содарного зондирования и модели, построены распределения скоростей ветра и градиентов температуры по данным моделирования и результатам наблюдений.

Работа проведена при поддержке грантов РФФИ 07-05-13610 и 08-05-00984.

Вариации вихревой активности атмосферы при разных уровнях солнечной активности и разных фазах квазидвухлетней осцилляции в стратосфере

Девятова Е.В. (anel_lena@mail.ru), Мордвинов В.И., Ковадло П.Г.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

Взаимодействие планетарных волн со средним зональным потоком рассматривается в физике атмосферы в качестве основного механизма генерации колебаний среднего потока в тропиках (квазидвухлетние осцилляции) и высоких широтах (кольцевые моды). Кроме того, существуют предположения, что изменения волновой активности, связанные с внешним воздействием (солнечная активность), могут быть промежуточным звеном в механизме солнечно-климатических связей.

Чтобы проверить эти гипотезы, в работе сопоставлены вариации волновой/вихревой активности с вариациями среднего зонального ветра в разных широтных зонах в тропосфере и стратосфере при разных уровнях солнечной активности и разных фазах квазидвухлетней осцилляции зонального ветра в низкоширотной стратосфере.

Волновые возмущения в верхней атмосфере Земли по данным зондирования сигналами спутниковой радионавигационной системы GPS

Перевалова Н.П. (pereval@iszf.irk.ru), Ишин А.Б., Воейков С.В.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

Согласно теоретическим представлениям, одним из физических механизмов взаимодействия ионосферы с нижележащими атмосферными слоями являются акустико-гравитационные волны (АГВ), которые могут распространяться вверх, проявляясь на

высотах 70–400 км в виде волновых возмущений ионизации с характерными периодами 1–150 мин. Однако экспериментальная регистрация в ионосфере возмущений метеорологического происхождения наталкивается на трудности, связанные с сильной изменчивостью ионосферных параметров, слабостью ионосферного отклика, а также большим количеством возможных источников возмущений.

В работе обсуждаются возможности регистрации реакции ионосферы на мощные метеорологические возмущения (циклоны) с помощью сигналов спутниковой радионавигационной системы GPS. По данным фазовых измерений наземных двухчастотных приемников GPS исследована пространственно-временная динамика интенсивности волновых возмущений полного электронного содержания (ПЭС) в верхней атмосфере Земли над зонами повышенной циклонической активности. Рассматривались волновые возмущения ПЭС в двух диапазонах периодов: 10–20 мин (среднемасштабные возмущения) и 25–90 мин (крупномасштабные возмущения). Зарегистрированы усиления интенсивности указанных волновых возмущений в отдельные дни, выделены возможные причины таких усилений: вариации гелио- и геомагнитной активности (солнечные вспышки, магнитные бури), движение солнечного терминатора, эффекты экваториальной аномалии, циклоны, землетрясения.

Проанализированы возможность и признаки выделения колебаний ПЭС, обусловленных мощными циклонами в атмосфере, на фоне возмущений, вызванных другими источниками. Показано, что при исследовании влияния циклонов на ионосферу целесообразно объединять статистический анализ состояния ионосферной плазмы с детальным рассмотрением динамики ионосферных параметров (в частности, с выделением волновых и изолированных возмущений, определением характеристик этих возмущений, а также с поиском усиления интенсивности возмущений различных временных масштабов) над зонами действия циклонов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 08-02-90437-Укр и 08-05-00658).

Исследование короткопериодных глобальных волн по наблюдениям ночных свечений

Карпова Н.В. (karpusik@inbox.ru), Швед Г.М., Ермоленко С.И., Аммосов П.П.,
Гаврильева Г.А., Савенкова Е.Н.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

К глобальным волнам атмосферы в часовом диапазоне периодов $t \sim 1\text{--}5$ ч относятся высокие гармоники (обертона) солнечного прилива и собственные колебания атмосферы типа волн Лэмба, отстоящие друг от друга на ~ 8 мГц. Эти глобальные волны мало изучены в силу их крайней слабости, хотя следы волн зарегистрированы вплоть до $t \sim 1$ ч. Генерация указанных волн, по-видимому, обусловлена нелинейными динамическими процессами в атмосфере. Тем самым, волны могут являться индикаторами этих процессов. Поэтому представляет интерес выявить такие динамические состояния атмосферы, когда интенсивность волн достигает уровня, позволяющего их зарегистрировать.

В данном исследовании к поиску глобальных короткопериодных волн привлечены ряды вращательной температуры ночных свечений гидроксидов ОН и молекулярного кислорода О₂ в течение зим 2007–2008 и 2008–2009 гг. на станции Маймага (63°N и 127°E). Измерения свечений производились инфракрасным спектрометром на базе СП-50 с использованием охлаждаемой ПЗС-камеры и широкоугольной камеры для обзора всего неба на базе объектива «рыбий глаз». Вращательные температуры определяются по свечениям в полосе ОН (6-2) (около длины волны 835 нм) и Атмосферной системе О₂ (0-1) (около длины волны 865 нм); характерные высоты свечений – 87 и 94 км соответственно. Длительность

ночных наблюдений 12–13 ч. Вращательные температуры $T(\text{OH})$ и $T(\text{O}_2)$ вычислялись за интервалы времени 10 мин. Частотные спектры рассчитаны для набора рядов $T(\text{OH})$ и $T(\text{O}_2)$ длительностью 5 суток. С целью исследования временного изменения спектра обрабатывались последовательности 5-суточных рядов, сдвинутых относительно друг друга на 1 сутки. Поскольку свечения днем не измеряются, спектры считались по методу Lomb-Scargle, специально разработанному для рядов с произвольным временным расстоянием между соседними членами ряда. Расчет спектров по 5-суточным рядам позволяет исключить из рассмотрения интенсивные внутренние гравитационные волны, распространяющиеся от локальных источников в атмосфере, как волны короткоживущие и не имеющие фиксированных частот. В спектрах остаются глобальные волны, как волны, обладающие (квази)постоянными частотами и имеющие время жизни не менее нескольких суток. Трансформация спектров получена для шести блоков данных длительностью от 4 до 2 недель, в которых допускаются пропуски наблюдений длительностью не более 1 ночи.

Получено, что глобальные волны регулярно наблюдаются в диапазоне $t \sim 3\text{--}5$ ч и временами – в диапазоне $t \sim 1.5\text{--}3$ ч. Частотное расстояние между спектральными пиками (11.6 мкГц), а иногда и сами частоты пиков, позволяют считать, что приливные гармоники ощутимы вплоть до $t \sim 1.5$ ч. Исследована связь периодов усиления рассматриваемых глобальных волн с динамическим состоянием нижней атмосферы, описываемым индексами АО и ААО, с фазами динамического возмущения средней атмосферы, приводящего к внезапным стратосферным потеплениям, и с полярными геомагнитными возмущениями, описываемыми индексом АЕ.

Исследование выполнено при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, грант 07-05-00475.

Генерация немигрирующих атмосферных приливов за счет долготных неоднородностей озона и нелинейного взаимодействия мигрирующих приливов со стационарной планетарной волной

Суворова Е.В. (ev-suvorova@yandex.ru), Погорельцев А.И.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Приливные колебания ветра и температуры являются одним из основных процессов, формирующих динамический и термический режим мезосферы и нижней термосферы (МНТ). Изучение изменчивости приливов и источников, ответственных за их генерацию, является ключевым моментом, ведущим к пониманию энергетики и динамики данного высотного региона. Разделяют мигрирующие (бегущие за Солнцем) и немигрирующие атмосферные приливы, фазовая скорость которых не совпадает со скоростью движения Солнца. Основным источником мигрирующих приливов является поглощение солнечного излучения водяным паром в тропосфере и озоном на стратосферных высотах. Немигрирующие приливы могут возбуждаться различными источниками, среди которых следует выделить следующие: нелинейное взаимодействие планетарных волн и мигрирующих приливов, выделение скрытой теплоты при фазовых переходах в тропосфере, а также поглощение солнечной радиации озоном, неравномерно распределенным по долготе.

В работе исследуется генерация немигрирующих приливов за счет долготных неоднородностей озона и нелинейного взаимодействия мигрирующих приливов со стационарной планетарной волной (СПВ). Для анализа немигрирующих приливов в МНТ и источников их генерации было проведено два модельных эксперимента (в результате было получено два ансамбля решений) по расчету атмосферной циркуляции для условий зимы Северного полушария с помощью Модели Средней и Верхней Атмосферы (МСВА). При получении первого ансамбля использовалось трехмерное распределение озона с учетом долготных неоднородностей, во втором случае задавалась только среднезональная

концентрация. Каждый ансамбль включает в себя 10 вариантов, рассчитанных с различными начальными условиями. Для оценки модельной климатологии рассматривались метеорологические поля, осредненные по 10 вариантам для каждого ансамбля решений, на их основе проведен анализ влияния учета в МСВА долготных неоднородностей озона на изменение значений температуры, ветра, структуры СПВ.

Показано, что при учете долготных вариаций озона распределение фазы СПВ с зональным волновым числом $m = 1$ в геопотенциальной высоте существенно не изменилось, а амплитуда в стратосфере возросла на 200 м. Во время развития внезапных стратосферных потеплений (ВСП) замечены долгопериодные изменения мигрирующего суточного прилива, а также происходит существенное увеличение амплитуды немигрирующего полусуточного прилива. Анализ амплитуд мигрирующих и немигрирующих приливов в меридиональном ветре, а также вклада источников в их генерацию проводился для вариантов расчетов с учетом стратосферного потепления в январе и при его отсутствии. Структура мигрирующих приливов остается одинаковой для ансамблей как при ВСП, так и при его отсутствии. Учет в МСВА долготных неоднородностей озона приводит к росту амплитуд немигрирующих полусуточного ($m = 1$) прилива в меридиональном ветре на 5 м/с в низких и высоких широтах южного полушария на высотах 115–125 км и суточного ($m = 2$) прилива на 2 м/с на широте 17.5° ю.ш. в высотном диапазоне 100–115 км при стратосферном потеплении. Распределение фаз обоих немигрирующих приливов существенно не изменилось. Отметим, что при ВСП растет амплитуда СПВ1, таким образом доминирующим источником немигрирующего полусуточного прилива в данном случае служит нелинейное взаимодействие СПВ1 и мигрирующих приливов. При отсутствии ВСП основным источником немигрирующего суточного прилива является незональный нагрев, вызванный долготными неоднородностями озона. При учете СПВ в озоне амплитуда немигрирующего полусуточного прилива превышает в 2 раза, а суточного – в 4–6 раз аналогичные амплитуды приливов при учете только среднезонального распределения озона.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты РФФИ № 08-05-00774 и РФФИ-ННИО №08-05-91950).

Полуэмпирическая модель атмосферных термических приливов и приливных возмущений и физико-математическое моделирование процесса их воздействия на фоновую циркуляцию и фоновую температуру в средней атмосфере Земли

Гаврилов А.А. (a_a_gavrilov@mail.ru), Капица А.П.

Представлена разработанная авторами нестационарная полуэмпирическая модель: 1) атмосферных термических приливов (АТП) в средней атмосфере Земли, обусловленных поглощением солнечной радиации озоном и водяным паром; 2) приливных возмущений (ПВ), инициируемых глобальными озоновыми аномалиями. Описывается полученное по экспериментальным данным и с помощью численных экспериментов на построенной модели и подтвержденное результатами опубликованных исследований по гранту РФФИ №02-05-96012 (“Исследование процесса дальнего волнового воздействия антарктической озоновой аномалии на температурный и циркуляционный режим средней атмосферы и структуру термических приливов Северного полушария методом физико–математического моделирования”), новое геофизическое явление – дальнее волновое воздействие (teleconnection) антарктической озоновой аномалии на структуру термического приливного ветра, фоновую циркуляцию и фоновую температуру среднеширотной нижней термосферы Северного полушария. Приведены среднезональные численные модели поправок к фоновой циркуляции и фоновой температуре в нижней термосфере за счет диссипации полусуточного и суточного АТП на этих высотах. Модель представлена в виде широтно-высотных профилей поправок к фоновым меридиональной, зональной, вертикальной скоростям ветра и

поправок к фоновой температуре для всех сезонов года. Отмечается, что максимального значения 40–50° поправки к фоновой температуре за счет “нагрева” полусуточным АТП достигают в полярной нижней термосфере обоих полушарий на высотах 110–120 км, как в период равноденствий, так и в период солнцестояний. Подчеркивается, что “нагревание” зимней полярной мезопаузы за счет диссипации полусуточного АТП на 6–9° выше, чем “нагревание” летней полярной мезопаузы.

С учетом построенной модели АТП разработаны физико-математические алгоритмы для оценок влияния океанских гравитационных приливов (ОГП) (солнечных и лунных) на АТП, учитывающие зависимость нижних граничных условий на уровне Земли (океана) от суточных вариаций параметров ОГП при решении гидротермодинамических уравнений возбуждения и распространения атмосферных приливных колебаний.

В заключение анализируются возможности построенной глобальной модели атмосферных приливов по исследованию гидродинамической неустойчивости зональных движений в тропосфере. Для иллюстрации возможности модели приведены результаты численных экспериментов по возбуждению (источник возмущений – полусуточный лунный гравитационный прилив) в типичном среднезональном движении в тропосфере основной неустойчивой баротропной моды (с симметричным уменьшением значений амплитуд от экватора до обоих полюсов и экспоненциальным спадом по высоте) с периодом порядка 20 суток и скоростью нарастания 3–5 суток.

Исследование полусуточного прилива по вариациям молекулярных полос OH(6,2) и O₂(0-1) на высоких широтах

Аммосов П.П. (p.p.ammosov@ikfia.ysn.ru), Гаврильева Г.А.

Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31, 677891 Якутск, Россия

Исследованы флуктуации интенсивностей эмиссий и вращательных температур молекулярных полос OH(6,2) и O₂(0-1), зарегистрированных на высокоширотной оптической станции Маймага (63° N, 129.5° E) расположенной на 150 км севернее Якутска. Высоты эмиссий молекул гидроксила и кислорода соответственно в среднем равны 87 км и 95 км. Для обработки были привлечены данные полученные с августа по апрель в течение 7 лет (2000–2007 гг.). Амплитуда и фаза полусуточного прилива были вычислены по методу наименьшего квадрата. Критерием отбора полусуточного прилива служило фазовое распространение сверху вниз. Анализы показали рост амплитуды прилива по температуре от эмиссионного слоя OH (6.0 K) до слоя O₂ (8.5 K). Максимум прилива по температуре OH слоя наблюдается в 0.6 местного времени, а по O₂ на два часа раньше. Средняя с августа по апрель температура в присутствии полусуточного прилива за 7 сезонов наблюдений убывает со скоростями 2.7 K/год на высоте слоя OH и 4.1 K/год на высоте излучения O₂. Амплитуда полусуточного прилива по температуре OH уменьшается примерно на 30 % за тот же период наблюдений. На высоте излучения O₂ амплитуда 12-часового прилива имеет тенденцию к увеличению. Средняя за сезон наблюдений фаза прилива не меняется.

Моделирование генерации АГВ в верхней атмосфере объемными и поверхностными источниками

Крысанов Б.Ю. (krysanov_b@mail.ru), Куницын В.Е.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2, 119991 Москва, Россия

Земная атмосфера и ионосфера являются чувствительным индикатором воздействия энергии от разного рода природных и антропогенных источников. К естественным источникам возмущения относятся, прежде всего, землетрясения, цунами, сильные грозы, геомагнитная активность, сейши и т.п., к искусственным – различные химические и ядерные

взрывы, запуски космических ракет. Основным механизмом распространения возмущения от таких источников в атмосферу являются акустико-гравитационные волны (АГВ). Из-за резкого спада плотности атмосферы с высотой эти волны по мере распространения вверх усиливаются и приводят к сильным возмущениям в верхней атмосфере.

Цель настоящей работы – численное моделирование генерации и распространения волн АГВ для разных классов источников в двумерной нелинейной диссипативной сжимаемой атмосфере, анализ полученных данных, обобщение экспериментальных данных и выявление закономерностей в распространении волн. Таким образом, необходимо составить и решить уравнения геофизической гидродинамики, которые описывают распространение АГВ. Основу уравнений гидродинамики составляет уравнение Навье-Стокса. Уравнение Навье-Стокса применимо к атмосфере до высот 450–500 км. Так как в основном возмущение атмосферы наблюдается именно до таких высот, то данное уравнение применимо для нашей задачи. Для численного расчёта был использован метод корректирующих потоков FCT (Flux Corrected Transport) второго порядка точности по времени и по пространству.

В нашей работе мы исследовали возможность генерации атмосферных возмущений от различных источников, таких как: сейши, цунами, нагрев поверхности земли, высыпание частиц, внутренние волны на поверхности океана. Каждый из этих источников имел свой характерный способ задания, а также свой диапазон характеристик. Таким образом, с помощью исследуемых источников моделировались реальные природные и антропогенные явления, которые способны генерировать АГВ в верхней атмосфере. Чтобы включить эти источники в нашу модель, задавались значения скорости, смещения и температуры частиц воздуха.

Анализ полученных результатов показал принципиальную возможность генерации АГВ в атмосфере для исследуемых источников и фоновых профилей атмосферы. Были определены следующие общие закономерности в распространении возмущения в верхней атмосфере для всех типов источников: формирование над эпицентром поверхностного источника на высотах мезопаузы и выше устойчивой картины акустического возмущения, масштабы которого зависели от характеристик источника и в среднем составляли ~ 1000 км по горизонтали и ~ 400 км по вертикали; формирование пакетов ВГВ (протяженностью от 2 до нескольких десятков длин волн), которые захватывались в волноводный канал на высотах выше мезопаузы и распространялись в горизонтальных направлениях от источника с наклоном вниз. При распространении волн с расстоянием наблюдалось увеличение периода и длины волны ВГВ. На дистанции 2000 км от центра источника увеличение периода составляло в среднем ~ 120–150 с по сравнению со значением периода гравитационных волн над эпицентром источника.

Параметризация стационарных орографических волн для использования в численных моделях динамики атмосферы

Коваль А.В. (koval_spbu@mail.ru), Гаврилов Н.М. (gavrilov@pobox.spbu.ru)
*Санкт-Петербургский государственный университет, физический факультет, Ульяновская 1, 198504
Санкт-Петербург, Россия*

Интерпретация наблюдений внутренних гравитационных волн (ВГВ) и включение эффектов ВГВ в численные атмосферные модели требует развития простых численных схем, которые обеспечивают удовлетворительное описание волновых колебаний за минимальное компьютерное время. Одним из важных источников ВГВ является топография земной поверхности. В данном исследовании разработана параметризация стационарных орографических волн, распространяющихся в атмосфере от поверхности Земли. В качестве основы для параметризации используется концепция "подсеточной" топографии, которая учитывает изменения высоты земной поверхности с горизонтальными масштабами, меньшими, чем шаг сетки численной модели. В окрестности каждого шага сетки рельеф

поверхности аппроксимируются эллиптическим горным барьером. Использована база данных высот земной поверхности ETOPO2 с шагом в 2 минуты вдоль широт и долгот. На первом этапе параметризации определяются эффективная высота эллиптического горного барьера, а также эксцентриситет и азимутальный угол (против часовой стрелки) от направления ветра до большой оси эллипса. Далее рассчитывается сила, действующая на эллиптический барьер со стороны набегающего горизонтального потока. С использованием формул из общей волновой теории рассчитывается горизонтальный поток импульса на единицу площади в каждой ячейке сетки, а также горизонтальное и вертикальное волновые числа. Уточнены поляризационные соотношения для стационарных орографических волн и получены формулы для расчета суммарного вертикального потока волновой энергии, а также вертикального профиля амплитуды колебаний горизонтальной скорости.

При практической реализации параметризации используется сетка, имеющая 36 узлов вдоль меридианов и 64 узлов вдоль параллелей. Вертикальный шаг сетки равен 4.5 км. Расчеты проводились на высотах от поверхности до 150 км. Вертикальные профили температуры и ветра рассчитываются по моделям MSISE90 и HWM93. Задан экспоненциально растущий вертикальный профиль турбулентной и молекулярной вязкости. Расчеты выполнены для января месяца. Данные расчетов показывают, что наибольшие значения вертикального потока горизонтального импульса стационарных орографических волн возникают над горными массивами. Вертикальный профиль амплитуды орографических волн зависит от профиля турбулентной и молекулярной вязкости и теплопроводности. При малой диссипации вблизи поверхности амплитуды орографических волн экспоненциально растут с высотой.

Рост вязкости и теплопроводности с высотой приводит к затуханию амплитуд орографических волн, причем выше 30–40 км существенные амплитуды наблюдаются только над горными массивами. В средних и высоких широтах зимнего (северного) полушария амплитуды орографических волн в средней и верхней атмосфере часто оказываются большими, чем на аналогичных широтах летнего (южного) полушария. Это, возможно, связано с более благоприятными условиями распространения волн в зимних структурах температуры и ветра по сравнению с летними. Вертикальный поток волновой энергии, а также волновые ускорения среднего потока и притоки тепла имеют пространственные распределения аналогичные распределениям амплитуд волн.

Изучение внутренних атмосферных гравитационных волн при помощи EISCAT Svalbard Radar

Власов А.А. (Alexey.Vlasov@fmi.fi), Кауристе К.

Финский Метеорологический Институт, FIN-00101, Р.О.В. 503 Хельсинки, Финляндия

Погорельцев А.И.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Атмосферные гравитационные волны (АГВ) играют значительную роль в динамике средней и верхней атмосферы. Распространяясь на термосферных высотах, АГВ взаимодействуют с ионосферной плазмой, что приводит к возникновению перемещающихся ионосферных возмущений (ПИБ). В данной работе был выполнен анализ данных измерений с помощью радара обратного некогерентного рассеяния EISCAT Svalbard Radar (ESR), который расположен на архипелаге Шпицберген. ESR позволяет получать профили электронной концентрации, скорости дрейфа ионов вдоль луча зрения, электронной и ионной температур в диапазоне высот от ~ 90 км до ~ 500 км. Применение спектрального анализа, цифровых фильтров и последующее сравнение фаз полученных вариаций на разных уровнях и для разных ионосферных переменных позволяет отделить возмущения, обусловленные АГВ, от вариаций, вызванных другими процессами (например, электрического дрейфа), и оценить характеристики наблюдаемых ПИБ.

Анализ регулярных измерений ESR в мае 2007 г. показал, что ПИВ, ассоциируемые с АГВ, являются достаточно частым явлением в районе расположения радара, по крайней мере, для данного сезона. Примерно для половины дней были обнаружены квазипериодические возмущения, интерпретированные как проявления АГВ. Изучение повторяемости периодов АГВ позволило выделить, по меньшей мере, две основные моды с периодами около 1.2 часа и 0.6 часа. Применение дисперсионного соотношения позволило приблизительно оценить горизонтальные длины волн и фазовые скорости АГВ и интерпретировать наблюдаемые ПИВ как среднемасштабные (горизонтальные масштабы порядка сотен километров).

Авторы выражают благодарность научной ассоциации EISCAT за предоставленные данные. EISCAT является международной ассоциацией, поддерживаемой исследовательскими организациями Китая (CRIRP), Финляндии (SA), Франции (CNRS, до конца 2006), Германии (DFG), Японии (NIPR и STEL), Норвегии (NFR), Швеции (VR) и Великобритании (STFC).

Численная модель нелинейного взаимодействия крупномасштабных волновых и мелкомасштабных стохастических (молекулярных) движений в средней атмосфере Земли

Гаврилов А.А. (a_a_gavrilov@mail.ru), Капица А.П.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 119992 Москва, Россия

Представлены результаты исследований по проекту РФФИ “Исследование природы случайных волновых полей и оценка их вклада в модели глобального переноса консервативной примеси в средней атмосфере методом физико-математического моделирования” (грант РФФИ №04-05-97212, рук. А.А. Гаврилов). В результате реализации проекта создана численная модель нелинейного взаимодействия крупномасштабных волновых (в том числе и атмосферных термических приливов) и мелкомасштабных стохастических (молекулярных) движений в средней атмосфере (интервал высот 80–120 км). Анализ результатов численных экспериментов на созданной модели позволил авторам сделать важный вывод о том, что нелинейные крупномасштабные процессы (например, атмосферный приливной ветер) с ненулевой плотностью спиральности существенно усиливают стохастические скорости “расплывания” облака частиц пассивной примеси, находящейся в зоне действия этих процессов, и приводят к появлению эффекта “наведенной” диффузии. Причем, коэффициент “наведенной” горизонтальной диффузии достигает значений $5 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{с}$.

Для проверки возможностей построенной модели результаты численных экспериментов для тестового случая одномодовой бегущей волны сравнивались с расчетами Я.Б. Зельдовича, полученными им ранее, на основе аналитического решения уравнения конвективной диффузии и расчетами О.В. Кайдалова, П.Н. Свиркунова, полученными аналитическим решением уравнения диффузии для N частиц, находящихся в поле одномодового приливного ветра. Хорошее совпадение результатов численных и аналитических расчетов подтверждает адекватность разработанной численной модели реальным физическим процессам. Сравнение оценок значения коэффициента горизонтальной турбулентной диффузии, полученных ранее авторами по радиометеорным данным, с результатами численного моделирования “методом частиц” показало, что диффузионные процессы в нижней термосфере вполне могут быть объяснены в рамках представлений о нелинейном взаимодействии крупномасштабных гидродинамических полей с мелкомасштабных стохастических полями (молекулярной диффузии). В заключение делается вывод о том, что существующее в настоящее время представление о механизмах диффузионных процессов пассивной примеси в нижней термосфере, как обусловленных мезомасштабной турбулентностью, должно быть дополнено выявленными в наших работах диффузионными механизмами.

Гравитационные волны области мезопаузы по данным спектрофотометрических измерений и численного моделирования

Перцев Н.Н. (n.pertsev@bk.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Погорельцев А.И. (apogor@rshu.ru), Зарубин А.С.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Изучение атмосферных гравитационных волн (ГВ) области мезопаузы началось в 1957 г. в Институте физики атмосферы (ИФА) на основе фотометрических и спектрофотометрических измерений излучения светящихся слоев верхней мезосферы-нижней термосферы, проводимых под руководством В.И. Красовского. С тех пор возникло много других способов регистрации ГВ вблизи мезопаузы, но метод Красовского остается одним из эффективных средств их исследования. В настоящем сообщении рассматриваются некоторые новые результаты, полученные из спектрофотометрических (СФМ) наблюдений, а также результаты численного моделирования ГВ. Все они относятся к поведению ансамбля ГВ при различных фоновых температурно-ветровых режимах и уровнях солнечной активности.

Одна из наиболее простых и широко используемых характеристик ансамбля ГВ – это дисперсия измеряемых или производных от них величин. По данным СФМ-измерений на Звенигородской обсерватории ИФА изучалась относительная (нормированная на среднее) дисперсия различных измеряемых величин в диапазоне 0.33–7 ч, в частности, ее зависимость от солнечной активности. Наиболее чувствительной к солнечной активности переменной оказался индекс плотности воздуха на высоте гидроксильного слоя (отношение интенсивности двух полос гидроксила). Для него получен статистически значимый результат: относительные дисперсии короткопериодных вариаций индекса плотности растут примерно в 1.5 раза с уменьшением солнечной активности от максимума к минимуму.

Другой новый результат СФМ-измерений касается сильной изменчивости наблюдаемых ГВ. В типичном случае вейвлет-анализ интенсивности излучения гидроксила (высота слоя ~ 87 км) и молекулярного кислорода (~ 94 км) прослеживает лишь 2–4 полных колебания в волновом пакете. Лишь в 40 % исследованных ночных измерений волновые пакеты одной частоты, превышающие уровень шума, регистрируются одновременно в этих двух слоях, еще реже можно связать волновые пакеты в двух слоях друг с другом во времени. Для излучения ОН зависимость максимальных за ночь амплитуд волновых пакетов от солнечной активности статистически не выявляется, для излучения О₂ максимальные амплитуды в среднем больше (~ в 1.5 раза) в год низкой солнечной активности, чем в год высокой.

Отмеченную тенденцию повышения ГВ-активности в годы солнечного минимума удастся воспроизвести на численной модели распространения ГВ (усовершенствованная версия модели [1]). На нижней границе (20 км) задается 20-компонентный дискретный спектр ГВ, основанный на модели [2] и одинаковый для условий солнечного минимума и солнечного максимума. Источник волн считается достаточно протяженным, чтобы не учитывать пространственную дисперсию волн. Далее рассчитывается распространение ансамбля волн в термосферу для температурных и ветровых летних и зимних профилей во время солнечного минимума и максимума. И летом, и зимой амплитуды волн в области высот 75–100 км во время солнечного минимума оказываются примерно такими же либо большими, чем во время солнечного максимума. Основную роль здесь играет несколько более медленное падение плотности с высотой на этих высотах в годы солнечного максимума и, значит, и более медленный рост амплитуд. Расчеты демонстрируют также сильное обратное влияние ансамбля ГВ на фоновое течение через ускорение ветра. Результаты могут сильно отличаться в зависимости от соотношения амплитуд волн, бегущих на запад и бегущих на восток в исходном спектре, однако в любом случае между

суммарными ускорениями ветра во время солнечного максимума и солнечного минимума в области высот 75–100 км наблюдается разница порядка 10 м/с/сут, что сопоставимо с ускорениями в приливах и подтверждает участие ГВ в формировании температурно-ветрового режима области мезопаузы.

Работа проводилась при поддержке РФФИ, грант 06-05-64856.

1. Погорельцев А.И., Перцев Н.Н. Влияние фонового ветра на формирование структуры акустико-гравитационных волн в термосфере. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 1995, **31**, 6, 755–760.
2. Hoppe U.-P. The effects of gravity waves in horizontal layers: simulation and interpretation. *European rocket and balloon programmes and related research*. ESA, France, 1988, 161–166.

Наблюдения короткопериодических волн камерой всего неба в инфракрасном свечении ОН над Якутском

Колтовской И.И., Аммосов П.П. (p.p.ammosov@ikfia.ysn.ru), Гаврильева Г.А.
Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31, 677891 Якутск, Россия

Приводятся результаты статистического анализа параметров внутренних гравитационных волн, зарегистрированных по вариациям эмиссии молекулы гидроксила. Волновые структуры регистрировались инфракрасной камерой всего неба, установленной на оптической станции Маймага ($\varphi = 63^\circ \text{ N}$, $\lambda = 129.5^\circ \text{ E}$). Анализируются данные, полученные в зимний период 1998 – 2008 гг. Будут представлены статистические характеристики волн.

Community Modeling and Analysis System (CMAS) Center

Hanna Adel (ahanna@unc.edu)
University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, NC 27599 U.S.A.

The U.S. EPA established the Community Modeling and Analysis System (CMAS) Center in 2001 as a mechanism for transferring primary responsibility for the development, maintenance, and applications support of the Models-3 air quality modeling system from EPA to a separate organization serving the needs of the air quality modeling community. The Center was designed to leverage the community's intellectual capital to continue refining these air quality modeling tools in order to improve and support their applications for critical problem analysis and decision-making. At the core of CMAS operations is the distribution and support of the CMAQ and SMOKE modeling systems. The modeling support has expanded over the years to include additional modeling tools such as MCIP, PAVE, VERDI, AMET, BenMAP and the MIMS Spatial Allocator.

The University of North Carolina's Institute for the Environment (UNC-IE) has hosted and has built the technical foundation of CMAS center since its inception and operated a Center to distribute CMAS services with exceptional success.

We discuss and present CMAS activities to pursue the following objectives:

- Foster the growth of the user community and model developers by establishing common needs for research and knowledge transfer capabilities.
- Serve as a clearinghouse of information, including data sets, research results, application experience, modeling software, analysis tools, and documentations.
- Coordinate extension, updates, testing and release of new versions of models and analysis tools, including those developed by the community.
- Serve as an education hub for those who need to learn about air quality models and their uses, by providing a user support system and training courses.
- Serve as a bridge between various segments of the community by fostering dialogue and the exchange of information, needs, and ideas, to connect the regulatory users and scientific researchers, the public and private sectors, the novices and the experts, the regulators and regulated, the consultants and their clients.

СЕКЦИЯ 8. СТРУКТУРА И СОСТАВ СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ПЛАНЕТ

Председатель: д.ф.-м.н. **С.П. Смышляев** (РГГМУ, СПб)

Сопредседатели: д.ф.-м.н. **А.И. Семенов** (ИФА РАН, Москва), к.ф.-м.н.

А.М. Задорожный (НГУ, Новосибирск), к.ф.-м.н. **В.А. Юшков** (ЦАО, Долгопрудный) к.ф.-м.н. **А.О. Семенов** (СПбГУ, СПб)

Водяной пар, озон и ледяные частицы в тропической нижней стратосфере по данным аэростатного и самолетного зондирования

Хайкин С.М. (sehamic@yandex.ru), Юшков В.А., Коршунов Л.И., Померо Ж.П., Нильсен Й., Фомель Х.

Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

В докладе представлены результаты измерений водяного пара, полученные на базе самолетной и аэростатной платформ в ходе ряда международных кампаний (SCOUT-O3, Австралия-2005; SCOUT-AMMA, Нигер-2006; TC4, Коста-Рика-2007 и SOWER, Индонезия-2009). Для измерения концентрации водяного пара использовался российский оптический флуоресцентный гигрометр FLASH на борту малых аэростатов, а также на борту высотного самолета М55-Геофизика.

Измерения влажности в области нижней стратосферы, полученные в ходе кампании SCOUT-AMMA, указывают на наличие слоев с повышенной концентрацией влаги в нижней стратосфере над Западной Африкой до уровня 450 К потенциальной температуры. Анализ спутниковых карт яркостной температуры, аэростатных измерений озона и аэрозольного рассеяния и траекторное моделирование показывают связь между наблюдаемыми слоями с повышенной влажностью и явлениями конвективных пробоев тропопаузы, в результате которых холодный и обедненный озоном воздух попадает в нижнюю стратосферу в виде ледяных частиц, которые, быстро сублимируясь, локально увеличивают концентрацию водяного пара. Сопоставление данных по влажности, полученных в Западной Африке в 2006 г. и Центральной Америке в 2007 г., обнаруживает существенные различия в значениях и вертикальной структуре водяного пара, как в области тропопаузы, так и в средней стратосфере.

На основе результатов самолетных и баллонных измерений водяного пара, озона и температуры в Австралии и Индонезии показано как происходит осушение и перемешивание воздушных масс в области холодной тропической тропопаузы.

Пространственно-временные вариации фаз основных колебаний общего содержания озона

Вишератин К.Н. (kvisher@typhoon.obninsk.ru), Сизов Н.И.

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

Нахождение фазовых соотношений между квазипериодическими колебаниями, наблюдающимися в геофизических рядах, является достаточно сложной задачей, слабо освещенной в соответствующей литературе. В настоящем докладе излагается методический подход, связанный с предварительным формированием композитных рядов и применение этого метода к исследованию фазовых соотношений в глобальном поле озона.

Для каждого узла $1^\circ \times 1.25^\circ$ пространственной сетки среднемесячных значений общего содержания озона (ОСО) по спутниковым данным ТОМС за 1980–2005 гг. было проведено классическое Фурье-преобразование с шагом по частоте 0.0001 мес^{-1} для периодов от 2 до 250 мес. На основе анализа полученных периодограмм выбраны основные периодичности и границы их изменчивости: полугодовая гармоника (5.5–6.5 мес.), годовая гармоника

(11.5–12.5 мес.), квазидвухлетние колебания (25–36 мес.), квазипятилетние колебания (50–60 мес.) и квазидесятилетние колебания (120–144 мес.). Для среднезональных (5 градусов) рядов ОСО методами обратного Фурье-преобразования для выбранных периодичностей построены композитные временные ряды ОСО, представляющие сумму всех спектральных гармоник в указанных интервалах. Период и амплитуда таких рядов с течением времени может меняться и характеризует изменчивость вариаций ОСО в выбранном спектральном интервале. Для каждой из широтных зон были вычислены вариации амплитуды основных периодичностей и построены пространственно-временные карты распределения фазы этих периодичностей.

Пространственно-временные распределения фаз указанных колебаний в диапазоне широт 90° S – 90° N и за период 1980–2005 гг. существенно различаются. Для полугодовых колебаний фаза наиболее стабильна в интервале 40° S – 40° N . В интервале 40 – 50° N выделяется узкая зона, в которой фаза полугодовых колебаний почти противоположна фазе колебаний вне этого интервала в более высоких и в более низких широтах. Фаза годового колебания относительно стабильна севернее 40 – 50° N и в зоне 30 – 60° S . Колебания поля ОСО в этих широтах происходят практически с одной фазой. Сравнительно быстрые изменения фазы происходят в северных тропиках и субтропиках и в широтной зоне 55 – 65° S . Обращает внимание стабильная система экстремумов амплитуды годовых колебаний в узкой зоне 40 – 50° S и противофазные экстремумы также стабильных синхронных вариаций ОСО в высоких северных широтах.

Одна из особенностей вариаций квазидвухлетних рядов – известный переворот фазы колебаний почти на 180° относительно экватора на широтах 11 – 12° S и 11 – 12° N . Практическое отсутствие колебаний в этих широтах схоже с узлами стоячей волны с максимумом на экваторе и следующими узлами вероятно вблизи 55 – 65° N и S . Сложный характер имеет распределение фаз квазипятилетних колебаний.

Фаза максимума квазидесятилетних колебаний сравнительно быстро смещается в пространстве за промежуток около полугода от северного полюса к тропикам, почти стабильна в тропическом поясе и далее, примерно через 2.5 года, достигает южного полюса, т.е. цикл смещения фазы максимума квазидесятилетних колебаний от полюса до полюса отличается от полупериода колебаний, равного в среднем 5.4 лет. Максимумы амплитуды этих колебаний сосредоточены в высоких широтах обоих полушарий.

Обсуждается возможная связь вариаций фазы основных колебаний поля ОСО с асимметрией северного и южного полушарий и сезонным ходом солнечной инсоляции.

Квазидвухлетние колебания в общем содержании озона – возможные связи с короткопериодной активностью Солнца и фазами Луны

Вишератин К.Н. (kvisher@typhoon.obninsk.ru), Шилкин А.В.

НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

В полях стратосферной температуры, зонального ветра, общего содержания озона (ОСО) и в ряде других геофизических рядов, кроме годовой гармоник, наиболее отчетливо обычно проявляются квазидвухлетние (QBO) и квазидесятилетние колебания. Причины возникновения QBO в геофизических рядах обычно связывают с цикличностью экваториального стратосферного ветра. Однако имеется ряд трудностей, связанных с механизмом возникновения QBO в полях стратосферного ветра. В ряде работ причины возникновения наиболее стабильных колебаний в метеорологических полях связываются также с гео- и гелиофизическими процессами, а также с биениями колебаний, имеющих различную природу и различные основные периоды.

В докладе приводятся результаты прямых сопоставлений результатов спектрального анализа различных гелио- и геофизических рядов в области квазидвухлетних колебаний, а также, на основе имеющегося к настоящему времени экспериментального материала,

анализируется выдвинутая в 60-х годах прошлого века гипотеза Л.А. Вительса о возможной взаимообусловленности квазидвухлетних колебаний геофизических полей с короткопериодными вариациями солнечной активности и вариациями фазы Луны.

Результаты расчетов показывают, что модуляция изменчивой во времени структуры короткопериодных колебаний активности Солнца стабильной во времени периодичностью обращения Луны может порождать модуляционные колебания, близкие к наблюдаемым в рядах общего содержания озона и экваториального стратосферного ветра. Приводятся также результаты анализа наиболее длинного озонового ряда (ст. Ароза), которые показывают наличие длиннопериодных вариаций, близких к периоду обращения фаз Луны.

Изменения общего содержания озона над территорией России в период 1973–2009 гг.

Звягинцев А.М. (azvyagintsev@cao-rhms.ru)

Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

По данным наземной сети озонметров М-124 и спутниковых наблюдений с помощью аппаратуры TOMS и SBUV (в ячейках размером 5° широты $\times$ 10° долготы) проведен анализ изменчивости общего содержания озона (ОСО) над территорией России в период 1973–2009 гг. Временные ходы ОСО удовлетворительно описываются регрессионной моделью, включающей кусочно-линейный тренд и влияющие факторы: солнечную активность (СА), квазидвухлетнее колебание (КДК) зонального экваториального ветра и арктическое или североатлантическое колебание (АК или САК). Значение индекса АК в период с декабря по март в значительной степени обуславливает ОСО практически до конца текущего года, особенно в высоких широтах Северного полушария; поэтому учет влияния АК в регрессионной модели выполнен в нетрадиционной форме.

В период 1979–1995 гг. над территорией России повсеместно наблюдался отрицательный тренд ОСО, а в период 1996–2007 гг. – сравнимый с ним по абсолютной величине положительный. Коэффициент детерминации регрессионной модели среднемесячных аномалий ОСО в зональных поясах в средних широтах Северного полушария при использовании данных только по СА, КДК и АК составляет 35–80 %; в отдельных ячейках и пунктах наблюдений он ниже. Влияние КДК и АК на ОСО существенно различно в различные сезоны: наибольшее влияние наблюдается в конце холодного сезона, наименьшее – в конце теплого; влияние СА в течение года почти постоянно.

Под воздействием АК в начале весны дефицит ОСО над северными районами Восточной Сибири (Республики Саха-Якутия) может достигать 40–50 ед.Д. и более; влияние КДК примерно в 1.5 раза слабее, а влияние СА не превышает 10 ед.Д. Низкое в марте и среднегодовое значение ОСО в 2008 г. в значительной степени было связано со стабильно высокими положительными значениями индекса АК в холодный период и западной фазой КДК; в первом квартале 2009 г. при близком к 0 среднем индексе АК среднемесячные ОСО были характерны для уровней 1970-х гг.

Воздействие мощного КВ радиоизлучения на мезосферный озон

Куликов Ю.Ю. (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Красильников А.А.

Институт прикладной физики РАН, Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия

Комраков Г.П., Фролов В.Л.

Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

Рассматривается схема и результаты микроволновых измерений вариаций мезосферного озона (D область ионосферы 50–90 км) во время нагревной кампании

12–19 марта, 2009 года. Нагрев осуществлялся при помощи стенда «СУРА», расположенного на расстоянии 150 км от Нижнего Новгорода около Васильсурска (56° N, 46° E). Эксперимент был поставлен следующим образом. Нагревный стенд излучал вверх под углом 12° от зенита на юг мощную радиоволну 80 МВт на частоте 4300 кГц. В этом же направлении была ориентирована антенна мобильного микроволнового озонметра для приема теплового излучения средней атмосферы на частоте 110.836 ГГц. Эта частота соответствует вращательному переходу озона 60.6–61.5. Озонметр состоит из гетеродинного приёмника миллиметровых волн и многоканального спектрометра. Характеристики прибора: однополосная шумовая температура – 2500 К, полоса анализа – 240 МГц, спектральное разрешение – от 1 МГц до 10 МГц, число каналов – 32. Параметры прибора позволяют измерить спектр линии излучения О₃ в течение нескольких минут. По измеренному спектру можно определить вертикальное распределение озона в интервале высот 20–60 км с точностью не хуже 20%. Микроволновый озонметр был включён в непрерывные наблюдения теплового излучения средней атмосферы с 14 марта по 19 марта. Спектры линии озона измерялись с временным разрешением 15 минут. В наблюдениях был использован метод абсолютной калибровки по двум эталонам излучения, которые находились при температуре окружающего воздуха и температуре кипения жидкого азота. Работа стенда на нагрев D области ионосферы была произведена 14 марта с 11:30 до 15:00, 15 марта с 12:11 до 14:41, 16 марта с 12:01 до 14:31 и 17 марта с 11:40 до 13:10 – время московское. Режим работы – это 30 минут нагрев, затем 30 минут пауза.

Во время нагрева 14–16 марта зарегистрировано понижение содержания мезосферного озона (высота 60 км) в среднем на 20 %. Причём изменения содержания озона внутри нагревного временного интервала носили периодический характер, который возможно определялся режимом работы стенда. Для сравнения средняя амплитуда суточных колебаний содержания мезосферного озона на высоте 60 км, которые связаны с восходом и заходом Солнца, составила величину около 40 %.

Авторы благодарят за финансовую поддержку РФФИ (гранты 08-05-99047 и 08-05-10047).

Лидарные наблюдения вулканического аэрозоля в стратосфере

Черемисин А.А. (cher@akadem.ru)

Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, 660041 Красноярск, Россия

Маричев В.Н. (marichev@iao.ru), Кузьменков Д.О.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пл. ак. Зюева, 634021 Томск, Россия

Новиков П.В. (novikov-pv@yandex.ru)

Филиал ГОУ ВПО ИРГУС, ул. Л. Кеңховели 89, 660028 Красноярск, Россия

В настоящее время в Сибири и на Дальнем востоке действуют три стратосферных лидарных станции. Старейшая из них функционирует уже несколько десятилетий в ИОА СО РАН (г. Томск). При содействии ИОА СО РАН в 2004 г. была создана лидарная станции в ИКФИА СО РАН (г. Якутск), в 2007 г. – лидарная станция в ИКИР ДВО РАН (Паратунка, Камчатка). Эти станции предназначены для мониторинга вертикальной структуры аэрозольного и температурного полей в средней и верхней атмосфере. Наличие в указанных пунктах ионосферных и аэрологических станций позволяет сравнивать данные лидарных наблюдений не только со значениями атмосферных параметров, оцененных со спутников, но и с данными наземных и шар-зондовых измерений [1].

Неоднократно в стратосфере, в частности над Томском, наблюдались аэрозольные слои, которые можно связать с проявлением вулканической деятельности. Связь между извержениями вулканов и лидарными стратосферными наблюдениями анализировалась методом обратных траекторий. Расчет траекторий проводился с использованием спутниковых данных BADC по скорости воздушных масс в атмосфере, которые привязаны к

пространственной сетке по широте, долготе и давлению. В свою очередь качество расчетов траекторий контролировалось по полученным со спутников данным по перемещению загрязнений атмосферы диоксидом серы после извержений вулканов. Согласно проведенному анализу, лидары фиксируют появление в стратосфере аэрозольных слоев, которые возникают при сравнительно слабых вулканических извержениях, мощность которых недостаточна для непосредственного выброса продуктов извержения в стратосферу.

Это исследование поддержано грантом РФФИ 07-05-00734а и Министерства науки и образования РФ (проект № 2.1.1/6996).

1. Черемисин А.А., А.В. Кушнаренко, В.Н. Маричев и др. Метеорологические условия и полярные стратосферные облака над Якутском зимой 2004/05 г. *Метеорология и гидрология*, 2007, 3, 43–53.

Сопоставление данных УФ-спектрометрии и радиотомографии ионосферы, исследование эффеков корпускулярной ионизации

Калашникова С.А. (kalashnikova@mocent.ru), Андреева Е.С., Куницын В.Е.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Ленинские горы д.1. стр.2, 119991 Москва, Россия

С начала 90-х годов для исследования структуры ионосферы успешно применяется спутниковая радиотомография (РТ). Существующие спутниковые навигационные системы (типа российских спутников «Цикада» и американских «Транзит»), имеющие практически круговую орбиту на высоте около 1000–1150 км, и наземные цепочки приемников дают возможность восстанавливать двумерные сечения электронной концентрации [1, 2]. Основным источником ионизации днём является электромагнитное излучение Солнца в диапазоне рентгена и УФ, тем не менее важны также и корпускулярные потоки, галактические и солнечные космические лучи и др. Ионизация, производимая корпускулярным излучением, мала по сравнению с ионизацией электромагнитным излучением, однако ее вклад может оказаться заметным во время геомагнитных бурь, особенно если они достаточно интенсивны, и в ночное время, когда отсутствует электромагнитное излучение.

Важным инструментом исследования ионосферы является УФ-спектрометр пространственного сканирования GUVI (Global Ultraviolet Imager), расположенный на спутнике TIMED (Thermosphere Ionosphere Mesosphere Energetics and Dynamics) [3]. Спутник имеет полярную солнечно-синхронную орбиту на высоте ~ 625 км. Сканирование производится в дальней ультрафиолетовой области и позволяет получать изображения от горизонта до горизонта в пяти выбранных интервалах длин волн или «цветах» (H I 121.6 нм, O I 130.4 нм, O I 135.6 нм, и N₂ Lyman-Birge-Hopfield диапазоне 140–150 нм и 165–180 нм). Данные о высыпаниях частиц регистрируются на спутниках Оборонной Метеорологической Спутниковой Программы (Defense Meteorological Satellite Program) DMSP [4, 5]. Спутники серии DMSP имеют полярную солнечно-синхронную орбиту на высоте ~ 850 км и измеряют локальные потоки низкоэнергетичных частиц (электронов, ионов).

В данной работе проведено сравнение данных о вертикальном полном электронном содержании ТЕС, вычисленном по РТ-реконструкциям ионосферы, полученных по измерениям на приемной цепочке в районе Аляски и в России на цепочке Москва-Шпицберген, с данными средней для 5 «цветов» интенсивности свечения, полученными GUVI, и с данными прямых измерений высыпаний спутниками DMSP. Сопоставления проводились для периода сильнейшей геомагнитной бури в октябре 2003 г. Траектории спутников DMSP близки к ориентации линеек приемников, но могут проходить в стороне. При сопоставлении учитывались лишь недалеко разнесенные пролеты. Данные GUVI, в случае пролета спутника над заданной областью, позволяют получать значения средней интенсивности свечения вдоль исследуемой приемной цепочки. Проведенный анализ данных

показал соответствие распределений высыпаний частиц распределениям интенсивности свечения и дополнительной ионизации на РТ-сечениях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 08-05-00676, 07-05-01120).

1. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д. *Томография ионосферы*. М.: Наука, 1991.
2. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева Е.С. *Радиотомография ионосферы*. М.: Наука, 2007.
3. http://guvi.jhuapl.edu/guvi_home.html
4. Newell et al. Morphology of nightside precipitation. *J. Geophys. Res.*, 1996, 101, 10737–10748.
5. <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.jsp>

Широтно-сезонная модель отклика температуры средней атмосферы на солнечную активность

Семенов А.И. (anasemenov@yandex.ru), Шефов Н.Н.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Выполнен анализ отклика среднемесячных значений температуры средней атмосферы на низких, средних и высоких широтах на солнечную активность на основе многолетних данных (1955–1995 гг.), полученных с помощью ракетного зондирования и спектрофотометрии ряда эмиссий ее собственного излучения в течение нескольких 11-летних циклов солнечной активности. На основе этих данных были построены высотные профили температуры на высотах 30–90 км на низких, средних и высоких широтах для всех месяцев годов максимальной и минимальной солнечной активности.

Для низких широт характерным является положительная реакция температурного режима на солнечную активность на высотах 50–70 км (достигающая + 9 K/100 sfu (solar flux unit)). Для области высот 30–50 км отклик температуры практически нулевой для зимнего периода и отрицательный для летнего (~ -2 K/100 sfu). Выше 70 км наблюдается тенденция отрицательного отклика температуры в течение всех месяцев года.

Для среднеширотной атмосферы на высотах 55–70 км изменения отклика температуры самые наименьшие ($\sim +2$ K/100 sfu для зимы и -1 K/100 sfu). На стратосферных высотах 30–55 км заметные изменения существуют зимой и весной ($\sim +5$ K/100 sfu). Наибольшие сезонные вариации отмечаются на высотах 80–95 км (для зимних условий -5 K/100 sfu) и для летних $+8$ K/100 sfu).

Для высоких широт характерным является отрицательная реакция температурного режима на солнечную активность на высотах стратосферы и положительная на высотах мезосферы, не освещаемых солнечным излучением в течение длительного периода полярной ночи. Для летних условий полярных широт, когда атмосфера круглосуточно освещена в течение нескольких месяцев, характер поведения температуры до высот 50 км практически идентичен. Отличие становится заметным на высотах выше 50 км, когда на полярных широтах проявляется значительная положительная реакция на солнечную активность (до $+10$ K/100 sfu).

Среднегодовой отклик температуры (положительный или отрицательный) на изменение солнечной активности становится заметным только выше 50 км для низких широт, на средних широтах выше 70 км и на высоких широтах проявляется на высотах стратосферы и нижней мезосферы.

На основе полученных результатов построена эмпирическая модель широтного и сезонного поведения отклика температуры атмосферы на высотах 30–80 км на солнечную активность.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №08-05-00504.

Воздействие вращательного солнечного цикла на среднюю и верхнюю атмосферу Земли

Груздев А.Н. (a.n.gruzdev@mail.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Шмидт Х.

Max-Planck-Institut für Meteorologie, Bundesstrasse 53, 20146 Hamburg, Germany

Брассёр Г.П.

National Center for Atmospheric Research, 1850 Table Mesa Drive, Boulder, CO 80305, USA

Изучение отклика земной атмосферы на вращательный (так называемый 27-суточный) солнечный цикл занимает важное место в исследованиях воздействия на атмосферу вариаций коротковолновой солнечной радиации, которые происходят в широком диапазоне временных масштабов. Амплитуда вращательного цикла может достигать 60 % от амплитуды 11-летнего солнечного цикла, а период вращательного цикла и периоды его первых гармоник близки к характерным периодам волновых возмущений в средней атмосфере. Мы представляем результаты численного моделирования отклика стратосферы, мезосферы и термосферы Земли на 27-суточные колебания коротковолновой солнечной радиации, полученные с помощью трехмерной химико-климатической модели HAMMONIA. Это первые расчеты атмосферных эффектов 27-суточного солнечного цикла, выполненные с применением такого типа модели. Модельная область простирается по высоте от поверхности земли до термосферы с верхней границей примерно на высоте 250 км и по широте – от 87°S до 87°N.

С применением разнообразных методов анализа, включающих регрессионные методы, спектральный и кросс-спектральный анализ высокого разрешения, получены значения амплитуд и фаз откликов температуры и химического состава атмосферы (малые газы составляющие кислородного, азотного и водородного химических циклов) на 27-суточные колебания солнечной радиации в спектральном диапазоне от крайнего ультрафиолета до видимой области. Зависимость амплитуды 27-суточных колебаний солнечной радиации от длины волны задается в соответствии с наблюдениями. Результаты моделирования показывают, что в то время как термический и химический отклики очень отчетливы и постоянны в верхней атмосфере, отклики в стратосфере и мезосфере имеют перемежающийся характер, сильно изменяясь со временем, несмотря на заданную в модели постоянную амплитуду воздействия. Модельные отклики имеют нелинейный характер: значения чувствительности откликов (но не амплитуды) в целом уменьшаются с увеличением амплитуды 27-суточного солнечного цикла (чувствительность определяется как процентное изменение атмосферного параметра, приходящееся на 1 % изменения интенсивности солнечной радиации с длиной волны 205 нм). Отклики во внетропических широтах зависят от сезона и часто имеют большие значения чувствительности зимой, чем летом.

Результаты численных расчетов сопоставлены с имеющимися экспериментальными данными. Чувствительность и фазовая задержка озонного отклика в тропической стратосфере и нижней мезосфере находятся в удовлетворительном соответствии с имеющимися данными наблюдений. Соответствие между расчетным и наблюдавшимся откликами температуры в целом хуже, чем для озона. Возможные причины расхождения обсуждаются. Модельные результаты показывают, что важную роль в отклике атмосферы на 27-суточный солнечный цикл могут играть динамические процессы. Нами проанализированы эффекты солнечного цикла в геопотенциале, характеристиках меридионального переноса примесей и температуры, структуре (амплитуде и фазе) планетарных волн.

Механизмы влияния парниковых газов на озоновый слой Земли в полярных широтах

Деминов И.Г. (dyominov@phys.nsu.ru), Задорожный А.М.

Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 2, 630090 Новосибирск, Россия

На основе численной двухмерной зонально-усредненной динамической радиационно-фотохимической модели озоносферы, включающей аэрозольную физику, исследуется роль парниковых газов CO_2 , CH_4 и N_2O в долговременных изменениях озонового слоя Земли, в частности, в его восстановлении после сокращения антропогенных выбросов в атмосферу хлорных и бромных соединений. Используемая модель позволяет самосогласованно рассчитывать диабатическую циркуляцию, температуру и газовый состав тропосферы и стратосферы на широтах от северного до южного полюса, а также распределение сульфатных аэрозольных частиц и полярные стратосферные облака (ПСО) первого и второго типов. Это дает возможность детально изучить процессы влияния антропогенного роста парниковых газов на динамику восстановления озонового слоя Земли в нижних, средних и полярных широтах в период 1980–2050 гг. Сценарии возможных изменений антропогенного загрязнения атмосферы для этого периода взяты из «Climate Change 2001».

Модельные расчеты показывают, что антропогенный рост содержания парниковых газов в атмосфере, особенно CO_2 , приводит к охлаждению стратосферы, что, в свою очередь, вызывает значительные изменения в распределении стратосферного озона. Охлаждение стратосферы влияет на содержание стратосферного озона в основном двумя путями. Во-первых, уменьшение температуры стратосферы через температурные зависимости констант скоростей фотохимических реакций ослабляет каталитические процессы разрушения озона, что приводит к росту содержания озона. Во-вторых, похолодание стратосферы вызывает более интенсивное образование полярных стратосферных облаков и, следовательно, более интенсивное разрушение озонового слоя, инициируемое гетерогенными процессами на поверхностях частиц ПСО.

Расчеты показывают, что доминирующим механизмом влияния парниковых газов на озоновый слой в нижних и средних широтах обоих полушарий, а также в южных полярных широтах является механизм воздействия, обусловленный температурными зависимостями газофазных фотохимических реакций, который приводит к увеличению содержания озона в стратосфере вследствие ослабления эффективности всех каталитических циклов разрушения озона. Воздействие парниковых газов на озон через модификацию полярных стратосферных облаков становится преобладающим по сравнению с механизмом воздействия, обусловленным температурными зависимостями газофазных фотохимических реакций, только в северных полярных широтах, начиная примерно с 2020 г., и только в ограниченный период с конца февраля по начало апреля. Отличие в воздействии парниковых газов на озоновый слой в южной и северной полярных областях через модификацию полярных стратосферных облаков обусловлено различием в температурных режимах этих областей.

Кроме отмеченных выше механизмов в результате выполненных расчетов был обнаружен и детально исследован механизм воздействия парниковых газов на полярный озон через модификацию распределения сульфатного аэрозоля в атмосфере. Этот механизм обусловлен следующими факторами. Изменения температуры и вызванные ими изменения меридиональной циркуляции атмосферы, инициированные антропогенным увеличением содержания парниковых газов в атмосфере, приводят к заметному росту плотности поверхности сульфатного аэрозоля в стратосфере с максимальным увеличением на высоте около 20 км в районе полюсов. Это увеличение поверхности сульфатного аэрозоля изменяет распределение озонактивных газовых хлорных, бромных и азотных составляющих в стратосфере посредством гетерогенных реакций на поверхности аэрозоля, что, в свою очередь, приводит к значительному уменьшению весеннего истощения полярного озона во время существования озоновой дыры над Антарктидой.

Водяной пар в атмосфере Венеры по данным эксперимента СПИКАВ/СУАР на КА Венера-Экспресс

Федорова А.А. (fedorova@iki.rssi.ru), Кораблев О.И., Берто Ж.-Л., Вандайль А.К.,
Беляев Д.А., Вилард Э., Махье А., Вилькет В.

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

СПИКАВ/СУАР – один из семи основных научных экспериментов на борту КА «Венера-Экспресс», начавшего работу на орбите Венеры в апреле 2006 года. Аппаратура эксперимента состоит из трех независимых спектрометров: ультрафиолетового СПИКАВ УФ (118–320 нм, разрешение ~ 0.55 нм), инфракрасного акусто-оптического СПИКАВ ИК (0.65–1.7 мкм, разрешение ~ 1500) и эшелле-спектрометра высокого разрешения СУАР с акусто-оптической фильтрацией света (диапазон 2.2–4.3 мкм, разрешение ~ 20000). СПИКАВ/СУАР предназначен для комплексного исследования атмосферы Венеры от поверхности до водородной короны (~ 40000 км). Все спектрометры комплекса имеют возможность работы в нескольких режимах, включая надирные наблюдения и солнечные затмения для вертикального зондирования надоблачной атмосферы Венеры.

Одной из научных задач эксперимента является измерение содержания водяного пара в атмосфере Венеры на разных высотах. Подобные результаты важны для понимания климата Венеры, поскольку, несмотря на большое количество измерений проводимых в 70-х–90-х годах с орбитальных и посадочных аппаратов, а также наземными телескопами, пространственное распределение H_2O на Венере до сих пор известно плохо. СПИКАВ/СУАР позволяет проводить измерения несколькими методами: 1) на высотах ~ 10 км на ночной стороне по «окну прозрачности» 1.18 мкм; 2) по спектрам отраженного солнечного излучения на дневной стороне над облачным слоем в полосах 0.94, 1.14 и 1.38 мкм; 3) по линиям H_2O в области 2.61 мкм (3830 см^{-1}) в режиме солнечных просвечиваний атмосферы на высотах 70–110 км в эксперименте СУАР, одновременно с измерениями изотопа HDO. В этой работе мы коснемся только результатов мезосферных измерений интегрального содержания водяного пара по полосе 1.38 мкм на дневной стороне и результатов эксперимента СУАР по вертикальному распределению H_2O на утреннем и вечернем терминаторе.

Содержание водяного пара над облаками было восстановлено по полосе 1.38 мкм с учетом многократного рассеяния света в облачном слое атмосферы Венеры. В полосах CO_2 в области 1.4–1.65 мкм по уровню вертикальной оптической толщины $\tau = 1$ были получены высоты верхней границы облаков (68–74 км). В отличие от наземных измерений в микроволновом диапазоне и результатов Пионер-Венера, показавших вариации в содержании водяного пара на порядок и более, данные СПИКАВ ИК указывают на довольно однородное распределение на низких и средних широтах, слабо меняющееся от местного времени. Полученные значения содержания H_2O колеблются в пределах от 3 до 6 ppm.

В эксперименте СУАР одновременные наблюдения линий водяного пара в области 2.61 мкм (3830 см^{-1}) на высотах 70–110 км и линий HDO в области 3.58 мкм (2715 см^{-1}) на высотах 75–95 км дают возможность построить изотопное соотношение HDO/ H_2O . За полтора года с апреля 2006 по август 2007 было выполнено 54 измерения водяного пара и его изотопа с различной геометрией наблюдений от средних широт южного полушария до северного полюса планеты. В работе рассмотрено 22 измерения около северного полюса Венеры, выполненные в перицентре орбиты. Получено среднее значение водяного пара 1.16 ± 0.24 ppm и HDO – 0.086 ± 0.020 ppm. Водяной пар в основном оказался хорошо перемешанным с почти однородным распределением на высотах > 75 км. Значительных временных вариаций вертикальных профилей водяного пара обнаружено не было. Среднее изотопное соотношение HDO/ H_2O оказалось равным 240 ± 25 раз земного соотношения, и выше в 1.5 раза значения 157 ± 30 , полученного в предыдущих измерениях из наземных наблюдений и с КА Пионер-Венера. Эти новые результаты должны послужить основой для

динамических и фотохимических моделей и для оценки современной скорости диссипации воды на Венере.

Детальная микрофизическая модель конденсационных облаков в атмосфере Марса

Бурлаков А.В. (kitt1986@gmail.com), Родин А.В. (Alexander.Rodin@phystech.edu)
Московский физико-технический институт, Институтский пер. 9, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия
Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

Построена численная модель основных процессов в марсианских облаках водяного льда (нуклеация, конденсация и сублимация, седиментация, турбулентная диффузия). В модели использована неоднородная сетка по размерам, каждой ячейке которой приписывается два независимых момента распределения. Интегрирование по времени осуществлялось при помощи полуявной схемы Якобсона. На основе температурных профилей, рассчитанных при помощи модели общей циркуляции атмосферы Марса, получен суточный цикл конденсационных процессов в атмосфере. Характерный размер ледяных частиц составляет 1–2 мкм в нижней части облачного слоя и 0.2–0.3 мкм – на высотах 40–60 км, что хорошо согласуется с данными эксперимента по солнечному просвечиванию в ближнем ИК диапазоне СПИКАМ на КА "Марс-Экспресс". Исследована зависимость конденсационных процессов и параметров облачного слоя от угла смачивания ядер конденсации с учетом новых экспериментальных данных.

Работа поддержана грантом РФФИ 07-02-00850-а.

Долгопериодные изменения температуры средней атмосферы по данным ракетных и спутниковых наблюдений

Кирюшов Б.М. (Kiryushov@gmail.com), Федоров В.В., Цветкова Н.Д., Юшков В.А.
Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Представлены результаты расчета трендов температуры в средней атмосфере по уточненным данным ракетного зондирования и по данным спутниковых наблюдений. Для анализа были использованы данные измерений на станциях ракетного зондирования: Волгоград, о. Хейса (Земля Франца Иосифа), Тумба (Индия) и Молодежная (Антарктида).

Период наблюдений составлял в среднем 26 лет (1969–1995 гг.). Результаты анализа данных ракетного зондирования сравнивались с данными спутниковых измерений (прибор Haloe, период 1991–2005 гг.). Построены сезонно-высотные разрезы температурных трендов на высотах средней атмосферы.

Межгодовая изменчивость химического разрушения озона в арктическом стратосферном циклоне в зимне-весенний период

Цветкова Н.Д. (nat@caomsk.mipt.ru), Юшков В.А., Дорохов В.М.
Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Исследования эволюции озонового слоя под воздействием естественных и антропогенных факторов является важной задачей в изучении климата. Химическое разрушение озона, вызванное антропогенными факторами, наиболее заметно проявляется в Арктике и Антарктике внутри полярного циклона в зимне-весенний период. Несмотря на некоторое снижение уровня озоноразрушающих веществ в стратосфере после 2000 года, термический режим в Арктике с периодическим очень сильным охлаждением зимней

полярной стратосферы по-прежнему приводит к значительным химическим потерям озона за счет более интенсивного образования полярных стратосферных облаков в холодные зимы.

Сильная изменчивость метеорологических условий в Арктике вследствие высокой активности планетарных волн в северном полушарии приводит к заметной межгодовой изменчивости величины химических потерь общего содержания озона в арктическом полярном циклоне – от практически нулевых значений в теплые зимы (например, в 1998/99 году) до 30 % и более в холодные зимы (1999/00, 2004/05 годы).

С 1995 года Центральная аэрологическая обсерватория проводит регулярный мониторинг химического разрушения озона в полярном циклоне в зимне-весенний период на основе данных баллонных, а также спутниковых измерений вертикального распределения озона. Баллонные измерения ВРО проводятся на ст. Якутск (62° N, 123° E) и Салехард (67° N, 67° E) с помощью электрохимических озонозондов типа ECC-2Z с частотой 2–3 раза в неделю. Скорости неадиабатического охлаждения воздушных масс в зимнем полярном циклоне рассчитываются с помощью модели радиационного переноса.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов МНТЦ #3093 и #3095.

Совместная глобальная химико-климатическая модель атмосферы

Галин В.Я. (galin@inm.ras.ru)

Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 119333 Москва, Россия

Смышляев С.П.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Малоохтинский пр. 98, 195196 Санкт-Петербург, Россия

Разработана совместная глобальная химико-климатическая модель атмосферы до высоты 90 км. За динамическую основу совместной модели принята климатическая модель ИВМ РАН с разрешением по горизонтали 4 x 5 градусов и с 39 уровнями по высоте. Химическую часть модели представляет разработка РГГМУ, включающая около 170 химических реакций между более чем 70 химически активными составляющими атмосферы. В модель включены все важные химические циклы с участием малых газовых компонент, гетерогенные реакции, полярные стратосферные облака, изменения солнечной активности, возможности учета вариаций аэрозоля в результате вулканических извержений и деятельности человека и т.д.

При разработке модели наиболее проблематичными оказались полярные районы, в частности, введение в модель полярных стратосферных облаков, формирование «озоновой дыры» в Антарктиде, воспроизведение сезонных максимумов и минимумов в распределении озона по земному шару. Для успешного сочетания динамической и химической частей совместной модели потребовалось введение существенных коррекций и в первую и во вторую составные части модели. Важную роль для формирования «озоновой дыры» в Антарктиде играют не только полярные стратосферные облака, но и соответствующие поля ветра, потоки тепла, диффузионные процессы. Если за возникновение и исчезновение озона в той или иной области атмосферы отвечает химическая часть, то за «правильное» распределение озона по земному шару отвечает уже динамическая составляющая модели. Динамика средней атмосферы, где формируется озоновый слой, в существенной степени определяется воздействием гравитационно-волнового сопротивления. В математической модели оно выражается соответствующей параметризацией орографического и не орографического гравитационного волнового сопротивления. Распределение озона в атмосфере весьма чувствительно к этой параметризации. Следует отметить, что проблеме Антарктиды не удалось нам пока разрешить удовлетворительно. В модели не учитываются эффекты нарушения локального термодинамического равновесия. Вероятно, это недостаток и сказывается в полярных районах. Нужна дальнейшая работа над моделью.

В докладе приводятся результаты моделирования распределения озона в атмосфере. С этой целью проводятся расчеты по программе AMIP2, но уже с переменным, моделируемым озоном. Результаты моделирования сопоставляются с аналогичными результатами других исследовательских групп из программы CCMVal.

Работа выполнена в Институте вычислительной математики РАН и в Российском государственном гидрометеорологическом университете при финансовой поддержке РФФИ по грантам 08-05-01006а и 09-05-00916а.

Учет вертикального ветра в моделях переноса стратосферных аэрозолей

Грязин В.И. (blind_faith@mail.ru), Береснев С.А.

Уральский государственный университет им. А.М. Горького, пр. Ленина 51, 620083 Екатеринбург, Россия

Проведен детальный анализ высотных, временных и сезонно-широтных зависимостей вертикального ветра в стратосфере за период с 1993 по 2006 гг. по данным модели общей циркуляции атмосферы UKMO и их сравнительное сопоставление с архивными метеоданными NCEP/NCAR. По всей видимости, вертикальный ветер является определяющим фактором движения электрически нейтральных аэрозольных частиц вплоть до высот 30–40 км и может значительно изменять скорости оседания и времена пребывания их в стратосфере. Характерные времена подъема и оседания частиц с учетом данного механизма значительно отличаются от аналогичных величин при учете только гравитационной седиментации. Оценки показывают, что действие вертикального ветра будет особенно заметным для фрактало-подобных частиц, таких как частицы сажи и вулканического аэрозоля. Выдвигается предположение, что вертикальный ветер на глобальных временных масштабах может существенно влиять на пространственное распределение аэрозолей и, в частности, являться причиной образования динамически устойчивых аэрозольных слоев в стратосфере для ряда характерных высот.

На примере задачи о действии постоянного источника частиц на некоторой высоте вблизи стратопauзы показано, что учет действия усредненного вертикального ветра кардинальным образом изменяет стандартные высотные профили относительной концентрации частиц. Данный вывод свидетельствует об обязательности включения в транспортные аэрозольные модели ветровой составляющей, если мы хотим корректно проанализировать эволюцию поствулканического или даже фонового стратосферного аэрозоля на достаточно больших временных масштабах. Обсуждаются результаты для высот левитации в стратосфере частиц различной плотности и размеров при действии на них силы тяжести и силы ветрового давления. Хотя использованная методика не позволяет полностью охарактеризовать свойства стратифицированных слоев частиц в стратосфере и оценить их толщины, несомненна корреляция с месторасположением слоя Юнге и полярных стратосферных облаков на известных высотах.

Созданная база данных для высотных профилей усредненного вертикального ветра содержит обширную информацию о его широтной и сезонной изменчивости за период 1993–2006 гг. (фактически полный солнечный цикл) и допускает не только удобную математическую аппроксимацию, но и достаточно простую параметризацию профилей вертикального ветра для дальнейшего анализа. С другой стороны, остается открытым вопрос об универсальности и репрезентативности подобной параметризации ввиду высокой изменчивости циркуляционных процессов в стратосфере, включая данные и для скоростей вертикального ветра.

Авторы выражают благодарность British Atmospheric Data Centre за предоставление доступа к базе данных UKMO. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-01-00649) и Минобрнауки России (программа «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)», рег. № 2.1.1/6019).

Вариации индексов солнечных корпускулярных потоков и вариации глобального содержания озона

Шилкин А.В. (shilkin@typhoon.obninsk.ru), Вишератин К.Н.
НПО «Тайфун», ул. Победы 4, 249038 Обнинск, Россия

В области интенсивных солнечных вспышек формируются потоки энергичных корпускулярных частиц, которые достигают орбиты Земли через несколько часов. В атмосфере Земли энергичные частицы вызывают ионизацию и диссоциацию молекул воздуха и приводят, к частности, к росту окиси азота, которая активно разрушает молекулы озона.

В настоящей работе проведен анализ влияния вариаций корпускулярных потоков на вариации в общем содержании озона (ОСО). Критерием анализа служили индексы вспышечной активности, в качестве которых использовалась информация о потоках высокоэнергетических частиц, достигающих поверхности Земли. Анализ вариаций озонового поля Земли проводился для среднедневных данных TOMS на сетке с пространственным разрешением $1 \times 1.25^\circ$, а также для среднезональных рядов озона. Проведен анализ временных и пространственных вариаций ОСО по данным, полученным с помощью спутниковой аппаратуры TOMS за период с 1979 по 2005 годы. С помощью метода наложенных эпох построены карты глобального распределения ОСО, характеризующие отклик озона на вспышечные события.

Для оценки значимости полученных результатов были разработаны методы, использующие подходы, применяемые в методе Монте-Карло. Результаты анализа указывают на сложный характер пространственных и временных вариаций общего содержания озона в послевспышечный период. Корреляционные связи ОСО и вспышечной активности Солнца наиболее заметны для среднезональных рядов и преимущественно для умеренных и высоких широт. Обсуждается анализ результатов, полученных в настоящей работе и другими авторами, при использовании отдельных эпизодов вспышечной активности Солнца на основе данных наземных станций зондирования озонового слоя.

Пространственно-временной контроль плотности верхней атмосферы Земли посредством мониторинга движения ИСЗ

Кошкин Н.И. (nikkoshkin@yahoo.com), Шакун Л.С., Драгомирецкий В.В.,
Коробейникова Е.А., Страхова С.Л.

*Астрономическая обсерватория Одесского национального университета им. И.И. Мечникова,
ул. Маразлиевская 1-В, 65014, Одесса, Украина*

Устойчивый прогноз движения низких космических объектов необходим для вычисления тесных сближений и предотвращения столкновений функционирующих спутников с космическим мусором. Для этого нужно знать характер воздействия возмущающих сил на эволюцию орбитального движения и вращения спутника. Мониторинг орбит сферических спутников позволяет вычислить плотность атмосферы вдоль орбиты [1, 2]. Для получения глобальной картины состояния верхней атмосферы необходимо включить в мониторинг большое число космических объектов различной формы. Однако для этого потребуются обеспечить получение данных о текущей ориентации объекта в пространстве. Регистрация солнечного света, который отражает поверхность спутника, позволяет определить ориентацию спутника в пространстве и принять ее во внимание при вычислении поперечного сечения ИСЗ и баллистического коэффициента.

В работе описана процедура наблюдений пассивных спутников Земли и метод обработки измерений для получения информации об орбитальном движении и вращении вокруг центра массы. Сопровождение низких спутников осуществляется с помощью скоростного теодолита КТ-50, который имеет диаметр зеркала равный 50 см. Приемником

служит телевизионная ПЗС камера. Поле зрения составляет 20 угловых минут. Интервал регистрируемой яркости звезд и спутника от 4 до 12. Измерение положений спутника и фотометрическая калибровка его блеска выполняется относительно звезд, которые находятся в поле зрения. Точность измерения координат спутника равна 1 угловой секунде. Точность измерения блеска около 0.1 звездной величины. Частота измерений составляет 25 кадров в секунду. Выполнен корреляционный анализ вариаций торможения движения для нескольких тысяч низкоорбитальных спутников. Получены различные классы орбит спутников, которые различаются по характеру торможения в атмосфере. Составлен список и описан каталог орбит спутников, которые включены в мониторинг атмосферы. Проведено сопоставление длинных рядов значений плотности атмосферы, которые вычислены на основе мониторинга торможения спутника и получены из модели MSISE00 [3].

1. Picone, J.M., J.T. Emmert, and J.L. Lean. Thermospheric densities derived from spacecraft orbits: Accurate processing of twoline element sets. *J. Geophys. Res.*, 2005, **110**, A03301.
2. Doornbos E., H. Klinkrad. Modelling of space weather effects on satellite drag. *Advances in Space Research*, 2006, **37**, 1229–1239.
3. Picone, J.M., A.E. Hedin, D.P. Drop, and A.C. Aikin. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues. *J. Geophys. Res.*, 2002, **107**, A12, 1468.

Сезонный и ночной ход эмиссий гидроксила и молекулярного кислорода по наблюдениям в Звенигороде

Перцев Н.Н. (n.pertsev@bk.ru), Перминов В.И.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Эмиссии гидроксила (87 км) и молекулярного кислорода (94 км) относятся к наиболее мощным излучениям верхней атмосферы. Они являются продуктом рекомбинации атомов кислорода. Исследование закономерностей вариаций этих эмиссий позволяет получить сведения об изменениях различного временного масштаба содержания атомарного кислорода в области мезопаузы и судить о влиянии на него различных динамических атмосферных процессов.

В настоящей работе представляются регулярные сезонные и ночные вариации данных эмиссий, полученные по спектральным наблюдениям полос ОН (6-2) (835 нм) и O₂ А (0-1) (865 нм) на Звенигородской обсерватории (55.7°N, 36.8°E) Института физики атмосферы РАН в течение 2000–2008 гг. Ночной ход гидроксильного излучения характеризуется в основном отрицательным трендом, а молекулярного кислорода – большей разнотипностью поведения. Такое различие связано с уменьшением химического времени жизни атомарного кислорода с понижением высоты. Так, на высотах выше 90 км время жизни атомов кислорода несколько суток. В результате имеем сильную обусловленность ночного поведения излучения молекулярного кислорода (94 км) приливами. Ниже 90 км химическое время жизни атомов кислорода менее суток, а на высоте 80 км составляет около 1 часа. Таким образом, однотипность ночного поведения гидроксильного излучения обусловлена в основном уменьшением содержания атомов кислорода в области эмиссии ОН в течение ночи за счет химических реакций, а также, возможно, вследствие вертикальной динамики. В сезонном поведении эмиссий выделяется понижение их интенсивностей в апреле–мае. Особенно этот эффект проявляется в случае эмиссии молекулярного кислорода, что свидетельствует о более сильном уменьшении атомарного кислорода на высоте 94 км.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 08-05-00710.

Отклик характеристик эмиссий мезопаузы на солнечную активность по наблюдениям в Звенигороде для различных сезонов

Перцев Н.Н. (n.pertsev@bk.ru), Перминов В.И., Суходоев В.А.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

В настоящей работе представляются результаты отклика характеристик эмиссий молекулярного кислорода и гидроксила, возникающих в области мезопаузы (80–100 км), на солнечную активность для различных сезонных условий. Анализируемыми характеристиками являются интенсивности полос $O_2 A(0-1)$ (865 нм) и $OH (6-2)$ (835 нм), а также вращательная температура гидроксила. Данные были получены по спектральным наблюдениям на Звенигородской обсерватории (55.7°N, 36.8°E) Института физики атмосферы РАН в течение 2000–2009 гг. Детальное описание используемого прибора, спектров и их обработка представлены в [1, 2]. Для анализа было использовано около 1000 ночей наблюдений. Оценка откликов эмиссионных характеристик на солнечную активность проводилась методом линейной регрессии. В результате было установлено, что их значения в зимний период больше, чем в летний. Для интенсивностей эмиссий – на 200–220 рэлей/100 sfu, а для температуры OH – на 4 K/100 sfu (sfu – единица потока солнечного радиоизлучения F10.7). Среднегодовое значение отклика для интенсивности эмиссии молекулярного кислорода составило около 190 рэлей/100 sfu, для гидроксила – около 330 рэлей/100 sfu и для его температуры – 5 K/100 sfu.

Сравнение откликов эмиссионных характеристик на солнечную активность, полученных на различных обсерваториях, позволило оценить их широтную зависимость. Так, в случае температуры гидроксила наименьший отклик (0–2 K/100 sfu) наблюдается на широтах 30–40 градусов. Вблизи экватора и на высоких широтах – 6–11 K/100 sfu. Следует отметить, что современные атмосферные климатические модели не дают значительного широтного изменения температурного отклика на солнечную активность.

Данная работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 08-05-00504.

1. Герасимова Н.Г., Яковлева А.В. Комплект светосильных спектрографов с дифракционными решетками. *Приборы и техника эксперимента*, 1956, 1, 83–86.
2. Семенов А.И., Баканас В.В., Перминов В.И., Железнов Ю.А., Хомич В.Ю. Спектр излучения ночной верхней атмосферы Земли в ближней инфракрасной области. *Геомагн. и аэрономия*, 2002, 42, 3, 407–414.

Температурное зондирование нижней атмосферы Венеры по тепловой эмиссии в окне прозрачности 2.4 мкм на ночной стороне

Колбудаев П.А., Родин А.В. (Alexander.Rodin@phystech.edu)

Московский физико-технический институт, Институтский пер. 9, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

Проводится анализ данных эксперимента VIRTIS-H по спектроскопии тепловой эмиссии Венеры в окне прозрачности CO_2 2.4 мкм с борта КА "Венера-Экспресс" с целью восстановления температурных профилей и поиска крупномасштабных волновых структур, отражающих динамические процессы в атмосфере планеты. При моделировании эмиссии использовались несколько альтернативных моделей формирования фактора далеких крыльев колебательно-вращательных полос поглощения. Решение обратной задачи зондирования основано на предположении о гладкости температурного профиля и позволяет восстанавливать температуру с точностью 2–4 K в диапазоне высот 35–50 км.

Работа поддержана грантом РФФИ 08-02-01383-а.

Параметризации коэффициента молекулярной теплопроводности в численных моделях термосферы Земли

Семенов А.О. (semenov@lmupa.phys.spbu.ru), Швед Г.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время в моделях энергетики и динамики термосферы используются разные параметризации коэффициента молекулярной теплопроводности. Нами проведено сравнение этих параметризаций и дана оценка возникающего при их использовании разброса температуры и плотности термосферы. Соответствующие профили температуры термосферы получены путем решения уравнения баланса энергии с использованием среднеглобальной полуэмпирической модели термосферы [1]. Разброс в значениях температуры верхней термосферы доходит до ~ 300 К, а для плотности на высоте 300 км до ~ 40 %. Причинами такой значительной неопределенности являются использование разных исходных экспериментальных данных о коэффициентах молекулярной теплопроводности и разный учет вклада колебательно возбужденных молекул N_2 и O_2 [2].

Предложена новая параметризация коэффициента молекулярной теплопроводности термосферы. Она основана на обновленных температурных зависимостях молекулярной теплопроводности по измерениям в чистых газах N_2 и O_2 и последних теоретических оценках сечений упругих столкновений атомов О.

1. Семенов А.О., Швед Г.М. Полуэмпирическая модель среднеглобальной температурной структуры земной термосферы для переменного содержания углекислого газа. *Изв. РАН, ФАО*, 2004, **40**, 3, 291–305.
2. Семенов А.О., Швед Г.М. Сравнение параметризаций коэффициента молекулярной теплопроводности термосферы. *Геомагнетизм и аэрономия*, 2008, **48**, 6, 823–828.

Микрофизические и радиационные процессы в аэрозольной дымке Титана

Родин А.В. (Alexander.Rodin@phystech.edu), Евдокимова Н.А.

Московский физико-технический институт, Институтский пер. 9, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

Скоров Ю.В.

Technische Universitaet Braunschweig, 38092 Braunschweig

Мингалев И.В.

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Ферсмана 14, 184209 Апатиты, Мурман. обл., Россия

В рамках одномерной диффузионной модели и трехмерной модели общей циркуляции атмосферы рассматриваются основные микрофизические процессы, ответственные за формирование органической аэрозольной дымки в атмосфере спутника Сатурна Титана, – зарядка под действием фотоэффекта и аккреции ионов и электронов из атмосферы, коагуляция, капиллярная конденсация. На основании данных моделирования при помощи метода дискретных диполей рассчитаны оптические характеристики агрегатных аэрозольных частиц и построена модель поля излучения в атмосфере Титана. Сравнение результатов моделирования с данными дистанционного зондирования эксперимента DISR на спускаемом аппарате "Гюйгенс" показывают, что в процессах агрегации частиц заметную роль играет кулоновский заряд, причем для малых частиц (менее 50 нм) дискретная природа заряда приводит к формированию пика в распределении по размерам, который является основным источником сферических мономеров. Фрактальные кластеры формируются в основном за счет баллистической агрегации. На высотах ниже тропопаузы возможна конденсация углеводородов в капиллярах и порах кластеров и формирование крупных (более 10 мкм) частиц, а также осадков.

Работа поддержана грантом РФФИ 07-02-00995-а

Прогнозирование динамики стратосферного озона с применением нейронных сетей

Маслакова С.С., Сакаш И.Ю. (Stella93@yandex.ru), Ланкин Ю.П., Сакаш Г.С.

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира 82, 660049 Красноярск, Россия

В настоящее время важной составляющей климатических исследований, особенно глобального масштаба, становятся методы математического моделирования. Необходимость понимания принципов взаимодействия атмосферы с биосферой, океаном, геологическими структурами, а также ближним космосом, является на сегодня не только точкой приложения научных интересов, но и условием выживания человечества в условиях глобального экологического кризиса. Важным показателем является умение строить эффективные имитационные и прогностические модели изучаемого объекта. Изучение и моделирование такого сложного природного феномена, каким является озоносфера Земли, требует длительных, точных измерений как наземными, так и спутниковыми средствами. Результаты измерений часто содержат от тысяч до миллионов строк, что затрудняет их использование для построения моделей традиционными средствами.

При построении моделей в работе использовался универсальный и гибкий аппарат аппроксимации сложных, нелинейных взаимосвязей – "искусственные нейронные сети". Результаты предыдущих исследований дали возможность перейти к экспериментам по построению пространственных нейросетевых моделей ОСО. Проведенные исследования продемонстрировали эффективность применения нейронных сетей для построения двумерных прогнозных моделей озонового слоя для отдельных регионов. Показана высокая перспективность использования адаптивных моделей в целом и нейронных сетей в частности, для моделирования атмосферных процессов.

В исследованиях использовались данные о глобальном содержании озона в атмосфере с сайта НАСА <ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/ptoms/data/>, получаемые со спутника EP/TOMS прибором TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer).

Лучистые притоки тепла в ИК полосах CO₂ по данным о содержании CO₂ в мезосфере, полученным в эксперименте CRISTA

Огибалов В.П. (vpo@lmura.phys.spbu.ru), Косцов В.С., Тимофеев Ю.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Исследования газового состава мезосферы и нижней термосферы (МНТ) тесно связаны с проблемой моделирования состояния этого слоя атмосферы. Спутниковые данные о составе мезосферы необходимы для изучения физических механизмов, ответственных за наблюдающиеся в этой высотной области температурные тренды. Для термического режима МНТ важной газовой составляющей является углекислый газ, т.к. выхолаживание в МНТ происходит главным образом за счет эмиссии в 15 мкм полосе CO₂. При этом содержание CO₂ в значительной степени определяет величину скорости этого выхолаживания.

В ноябре 1994 г. и в августе 1997 г. были проведены два космических эксперимента с аппаратурой CRISTA для комплексного изучения средней атмосферы. Разработанный в Санкт-Петербургском университете новый метод интерпретации спектров ИК излучения (полосы углекислого газа 15 мкм и озона 9.6 мкм), зарегистрированных аппаратурой CRISTA в области МНТ, позволил одновременно получить вертикальные профили различных параметров атмосферы, в том числе содержания углекислого газа на высотах 65–90 км. Обнаружено, что постоянство значений отношения смеси CO₂ выполняется только до высоты примерно 70 км, в то время как ранее считалось, что это имеет место до высот 83–85 км. На высоте 90 км среднее значение отношения смеси CO₂ по данным CRISTA-1

составило 225 млн.⁻¹, по данным CRISTA-2 – 277 млн.⁻¹, что существенно меньше значений, использовавшихся ранее для оценок лучистых притоков в ИК полосах CO₂.

На основе данных экспериментов CRISTA выполнен анализ средних профилей отношения смеси CO₂, а также их широтной зависимости. Эти профили отношения смеси CO₂ использованы при решении задачи переноса излучения в колебательно-вращательных полосах CO₂ в средней и верхней атмосфере Земли при учете нарушения ЛТР по колебательным степеням свободы молекул. Показано, что использование меньших (по сравнению с традиционно использовавшимися ранее) значений отношения смеси CO₂ на высотах 70–110 км приводит к более низким величинам неравновесных населенностей колебательных состояний молекул CO₂, имеющих возбуждение по деформационному колебанию. Эти населенности использовались для получения новых оценок скорости лучистого притока в полосах CO₂.

Лучистое выхолаживание на высотах 70–110 км в целом увеличивается (например, на высоте 80 км до 3 К/сут для средних широт в северном полушарии). Этот результат представляется важным для баланса энергии в слое 70–90 км, т.к. на указанных высотах по современным представлениям наблюдается минимум как полной скорости лучистого нагревания, так и полной скорости лучистого выхолаживания.

Работа выполнена при поддержке Миннауки РФ (гранты АВЦП 1138 и АВЦП 3846).

СЕКЦИЯ 9. ФОТОХИМИЯ И КИНЕТИКА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ И НЕРАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ПЛАНЕТ

Председатель: д.ф.-м.н. **Н.Н. Шефов** (ИФА РАН, Москва)

Сопредседатели: к.ф.-м.н. **В.А. Янковский** (СПбГУ, СПб), к.ф.-м.н. **Р.О. Мануйлова** (СПбГУ, СПб)

Сезонный ход атмосферной эмиссии атомарного кислорода 557.7 нм и его зависимость от солнечной активности и динамических процессов в атмосфере

Медведева И.В. (ivmed@iszf.irk.ru), Михалев А.В.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

В настоящей работе представлены результаты исследования сезонного хода атмосферной эмиссии атомарного кислорода с длиной волны излучения 557.7 нм для средних широт Азиатского региона, полученного на основе многолетних данных наблюдений собственного свечения верхней атмосферы в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E, Восточная Сибирь).

Сезонный ход эмиссии 557.7 нм (высота высвечивания 85–115 км) отображает регулярные динамические процессы в верхней атмосфере и, в частности, вариации распределений температуры и состава мезосферы и нижней термосферы. При качественном совпадении выявлены количественные отличия в сезонном ходе атмосферной эмиссии 557.7 нм для региона наблюдения от вычисленного по модельным расчетам и измеренного на других среднеширотных станциях. Установлено, что частые стратосферные потепления в регионе Восточной Сибири могут привести к увеличению среднемесячных значений интенсивности эмиссии 557.7 нм в зимний период. Показано, что географическая неравномерность стратосферных потеплений и их высокая концентрация в Азиатском регионе могут формировать широтно-долготные особенности вариаций эмиссии 557.7 нм, в том числе особенности ее ночного и сезонного хода. Также проведенное по экспериментальным данным исследование выявило зависимость сезонного хода эмиссии 557.7 нм от уровня солнечной активности.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 09-05-00243 и 09-05-00757, программы Президиума РАН № 16 (часть 3), а также в рамках совместного российско-болгарского проекта «Атмос».

Фотохимия надтепловых атомов и молекул в планетных атмосферах

Шематович В.И. (shematov@inasan.ru)

Институт астрономии РАН, ул. Пятницкая 48, 119017 Москва, Россия

Наземные и космические наблюдения показывают, что верхние атмосферы планет населены как тепловой фракцией нейтральных атомов и молекул со средней кинетической энергией, отвечающей температуре экзосферы, так и фракцией надтепловых (горячих) атомов и молекул со средней кинетической энергией много больше температуры экзосферы. Атмосферная фотохимия является важным источником надтепловых частиц в планетных атмосферах. Действительно, процессы диссоциации атмосферных молекул солнечным УФ излучением и фотоэлектронами, диссоциативная рекомбинация молекулярных ионов и другие экзотермические фотохимические реакции приводят к образованию продуктов реакций с избытком кинетической энергии порядка нескольких эВ, а также в возбужденных состояниях. Если скорость образования надтепловых частиц в состояниях внутреннего возбуждения выше или порядка скорости их термализации в упругих столкновениях, то в верхних атмосферах возможно присутствие устойчивой фракции таких атомов и молекул. В

последнее время существенно вырос интерес к исследованию кинетики надтепловых частиц в возбужденных состояниях, так как они играют важную роль в химии и энергетике верхней атмосферы, а именно: (а) приводят к локальным изменениям химического состава, так как неравновесные коэффициенты скорости химических реакций (особенно с высокими энергиями активации) между надтепловыми частицами и окружающим атмосферным газом намного выше, чем для химических реакций при тепловых энергиях; (б) вызывают нетепловые атмосферные эмиссии; (в) населяют горячие планетные короны и усиливают нетепловые атмосферные потери, определяя эволюцию атмосферы на астрономических масштабах времени. Основной трудностью исследования процессов образования, кинетики и переноса надтепловых атомов и молекул в возбужденных состояниях в планетных атмосферах является необходимость рассмотрения этих процессов на микроскопическом уровне описания. Действительно, надтепловые частицы образуются в термодинамически открытых системах – разреженном газе верхних атмосфер планет, подверженных воздействию УФ излучения Солнца и плазмы солнечного ветра, и соответственно, их дальнейшая судьба определяется с использованием кинетических уравнений Больцмана для химически реагирующих разреженных атмосферных газов. Для решения этой сложной математической задачи используется разработанный ранее метод стохастического моделирования [1].

В докладе обсуждаются математические модели образования и кинетики надтепловых частиц в возбужденных состояниях за счет процессов атмосферной фотохимии. Эти модели использованы для исследования образования, кинетики и переноса тепловых и надтепловых атомов кислорода в метастабильном состоянии $O(1D)$ в верхней атмосфере Земли [2], в верхней атмосфере Марса и в разреженной атмосфере ледяного спутника Юпитера – Европа. В частности, будут рассмотрены вклад надтепловых атомов кислорода в избыточные атмосферные свечения и роль надтепловых атомов $O(1D)$ в оценке температуры термосферы Земли [3]. Также будет рассмотрен вклад надтепловых атомов азота в состояниях $N(4S)$ и $N(2D)$ в фотохимию нечетного азота в нижней термосфере Земли.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-02-00263).

1. Шематович В.И. Стохастические модели горячих планетных и спутниковых корон. *Астрономический вестник*, 2004, **38**, 28–38.
2. Shematovich et al. Thermalization of $O(1D)$ atoms in the thermosphere. *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**, 4287–4295.
3. Hubert B., Gerard J.-C., Killeen T., et al. Observation of anomalous temperatures in the daytime $O(1D)$ 6300 Å thermospheric emission: a possible signature of nonthermal atoms. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**, 12753–12764.

Температурный тренд мезопаузы над Якутией

Аммосов П.П. (p.p.ammosov@ikfia.ysn.ru), Гаврильева Г.А., Колтовской И.И.
Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31,
677891 Якутск, Россия

Представлен анализ изменения температуры мезопаузы на основе измерения вращательной температуры $OH(6,2)$. Наблюдения проводились на станции Маймага ($63^\circ N$, $129^\circ E$) с 1982 по 2008 годы. Измерения ведутся инфракрасным спектрографом. Температура определялась по распределению интенсивности излучения в разных ветвях молекулярной полосы гидроксила. В работе исследовано изменение среднемесячной вращательной температуры $OH(6,2)$ в январе и феврале. В зависимости от способа регистрации и метода обработки данные разделились на две группы: с 1982 по 1990 и с 2000 по 2008 годы.

Показано, что наклон линии регрессии, проведенный по данным 1982–2008 годов, соответствует охлаждению атмосферы на высоте свечения молекулярной полосы $OH(6,2)$ со скоростью $0.5 K/год$. Среднемесячные температуры, полученные наземным прибором с 2002 по 2008 годы, сравнивались с кинетической температурой, измеренной радиометром SABER со спутника TIMED. Показано, что, несмотря на систематическую разность между

наземными и спутниковыми измерениями в 7 К, вариации среднемесячных температур, полученных двумя независимыми способами, очень хорошо коррелируют. Линейная регрессия, отражающая скорость охлаждения мезосферы на высоте излучения гидроксила в эти года увеличилась и достигает ~ 3 К/год в январе и 1 К/год в феврале.

Влияние солнечной активности на концентрацию О в мезопаузе на высоких широтах восточной Сибири

Аммосов П.П. (p.p.ammosov@ikfia.ysn.ru), Гаврильева Г.А., Колтовской И.И.
*Институт космических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, пр. Ленина 31,
677891 Якутск, Россия*

Атомарный кислород является одним из основных активных составляющих ночной мезопаузы. Известно, интенсивности молекулярных полос ночного неба $\text{OH}(6,2)$ и $\text{O}_2(0-1)$ зависят от концентрации атомарного кислорода, соответственно, прямым образом и от квадрата. Отношение интенсивности полосы $\text{O}_2(0-1)$ к $\text{OH}(6,2)$ дает качественную картину флуктуации концентрации атомарного кислорода в мезопаузе. Одним из важных преимуществ отношения интенсивностей молекулярных полос является исключение влияния чувствительности прибора, зенитного угла наблюдения и прозрачности атмосферы на оптические данные.

В работе представлены около 1500 средненочных отношения интенсивностей молекулярных полос, зарегистрированные инфракрасным спектрографом с 1999 по 2009 годы на оптической станции Маймага (63°N , 129°E), расположенной на 150 км севернее от г. Якутска. На широте 63° из-за светлых летних ночей наблюдения проводятся с августа по май. Приводятся предварительные результаты влияния солнечной активности на изменения сезонного хода отношений интенсивностей молекулярных полос. В годы солнечной активности сезонный ход концентрации атомарного кислорода (полученный из отношения интенсивностей полос) имеет два максимума: короткий по длительности и маленький по амплитуде около осеннего солнцестояния и второй с конца декабря по март с большей амплитудой. Резкое весеннее уменьшение концентрации атомарного кислорода, связанное с весенним переходом общей циркуляции атмосферы, в годы активного солнца наблюдается в конце марта, с уменьшением активности солнца смещается в начало марта. В годы минимума первый максимум уменьшается по амплитуде, но остается; второй максимум уменьшается по величине в 3 раза и практически исчезает. Второй максимум концентрации кислорода во времени совпадает с активностью планетарных волн, наблюдающихся в период стратосферных потеплений. Возможно, уменьшение активности солнца, каким-то образом ведет к ослаблению проникновения планетарных волн в мезопаузу. Также можно предположить, что активность солнца влияет на общую циркуляцию верхней атмосферы: ослабление вертикального переноса, ведущего к уменьшению концентрации атомарного кислорода в зимний период и ранней весенней перестройке с уменьшением активности солнца.

Фотолиз O_3 в полосах Хартли, Хаггинса, Шаппюи и Вульфа в средней атмосфере: колебательная кинетика молекул кислорода $\text{O}_2(X^3\Sigma^-_g, v=1-35)$

Янковский В.А. (vyankovsky@gmail.com), Мануйлова Р.О., Бабаев А.С.
Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Расширенная версия модели электронно-колебательной кинетики продуктов фотолиза O_3 и O_2 в средней атмосфере YМ2006 [1] используется для расчета концентрации

колебательно возбужденных молекул O_2 . В модели рассматриваются уравнения баланса для 45 электронно-колебательных возбужденных состояний молекул кислорода в синглетных состояниях $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0-2)$, $O_2(a^1\Delta_g, v=0-5)$, в основном состоянии $O_2(X^3\Sigma_g^-, v=1-35)$, а также метастабильного атома $O(^1D)$. С целью полного учета всех процессов фотолиза, влияющих на образование колебательно возбужденных молекул кислорода в состояниях $O_2(X, v \leq 35)$, в данной работе помимо фотолиза O_3 в полосах Хартли учитывается фотолиз в полосах Шаппюи, Хаггинса и Вулфа во всем интервале 200–900 нм. В модель также были включены недавно появившиеся расчеты констант скоростей процессов переноса энергии $O_2(X, v \leq 30) + O(^3P) \rightarrow O_2(X, v' < v) + O(^3P)$ [2].

Рассчитаны высотные профили (в диапазоне 50–120 км) концентраций молекул $O_2(X, v=1-35)$ для данных спутника TIMED/SABER в интервале широт 30.2 до 47.7° с.ш. в период весеннего равноденствия 2002 г. В соответствии с расчетами, на высотах около 80–95 км концентрация молекул кислорода в первом возбужденном колебательном состоянии $O_2(X, v=1)$ на 15 % больше, чем было получено нами при расчетах с использованием предыдущей версии модели YM2006. В этой высотной области концентрация молекул кислорода во втором возбужденном колебательном состоянии $O_2(X, v=2)$ достигает 20 % от концентрации $O_2(X, v=1)$. Нижние возбужденные колебательные состояния молекул $H_2O(0, v, 0)$ и $O_2(X, v)$ для $v=1-4$ связаны сильным колебательно-колебательным (V-V) обменом [3]. Как показывает наша работа, при расчетах концентраций молекул H_2O в нижних возбужденных колебательных состояниях молекул $H_2O(0, v, 0)$, необходимо учитывать не только заселение состояния (010) за счет V-V обмена с $O_2(X, v=1)$, но также и состояния (020) за счет столкновений молекул $H_2O(000)$ и возбужденных молекул кислорода $O_2(X, v=2)$.

Работа поддержана грантом РФФИ 09-05-00694-а.

1. Yankovsky V.A., Manuilova R.O. Model of daytime emissions of electronically-vibrationally excited products of O_3 and O_2 photolysis: application to ozone retrieval. *Annales Geophysicae*, 2006, **24**, 11, 2823.
2. Esposito F., Armehise I., Capitta G., Capitelli M. $O - O_2$ state-to-state vibrational-relaxation and dissociation rates based on quasiclassical calculations. *Chemical Physics*, 2008, **351**, 1–3, 91–98.
3. Мануйлова Р.О., Янковский В.А., Семёнов А.О. и др. Неравновесное излучение средней атмосферы в ИК-полосах водяного пара. *Оптика атмосферы и океана*, 2001, **14**, 10, 940–943.

Восстановление озона из эмиссии $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1)$

Кулешова В.А. (Upg.Nika@gmail.com), Янковский В.А.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Традиционно вертикальный профиль озона в средней атмосфере и нижней термосфере Земли восстанавливают из измерений интенсивностей эмиссий молекул $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0)$ в атмосферной полосе (Атм (0-0), 762 нм) или $O_2(a^1\Delta_g, v=0)$ в инфракрасной атмосферной полосе (ИК Атм (0-0), 1.27 мкм). Учет электронно-колебательной кинетики в современной модели фотодиссоциации молекулярного кислорода и озона YM-2006 [1] позволяет восстанавливать вертикальный профиль O_3 из эмиссий электронно-колебательно возбужденных молекул $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1)$ в полосах (1-1) (с центром полосы 770 нм) и (1-0) (с центром полосы в 689 нм), которые наблюдаются в верхней атмосфере Земли. Используя модель YM-2006 и анализ, проведенный в работе [2], получаем приближенную аналитическую формулу для восстановления вертикального профиля озона из интенсивности эмиссии молекул $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1)$.

Работа поддержана грантом РФФИ 09-05-00694-а.

1. Yankovsky V.A., R.O. Manuilova. Model of daytime emissions of electronically-vibrationally excited products of O_3 and O_2 photolysis: Application to ozone retrieval. *Annales Geophys.*, 2006, **24**, 11, 2823–2839.
2. Кулешова В.А., В.А. Янковский. Модель электронно-колебательной кинетики фотолиза O_2 и O_3 в средней атмосфере Земли: анализ чувствительности. *Оптика атмосферы и океана*, 2007, **20**, 7, 599–609.

Солнечные циклы в вариациях атмосферных эмиссий 557.7 нм и 630 нм

Михалев А.В. (mikhalev@iszf.irk.ru), Медведева И.В.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, ул. Лермонтова 126а, 664033 Иркутск, Россия

Рассматриваются особенности вариаций интенсивностей атмосферных эмиссий атомарного кислорода 557.7 и 630 нм (высоты высвечивания 85–115 и 180–250 км соответственно) в различные солнечные циклы. В работе использованы экспериментальные данные, полученные в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E) в 23-м солнечном цикле, и опубликованные результаты, полученные на других среднеширотных станциях в предыдущие солнечные циклы. Одна из наблюдаемых особенностей вариаций эмиссий 557.7 и 630 нм заключается в нарушении прямой корреляционной зависимости значений интенсивностей этих эмиссий от уровня солнечной активности (F10.7) в отдельные годы.

В работе предпринята попытка сопоставить многолетние вариации эмиссий 557.7 и 630 нм с некоторыми климатическими глобальными и региональными индексами, потенциально отражающими вариации или особенности общей циркуляции нижележащей атмосферы. В частности, выявлено, что нарушения синфазности между межгодовыми вариациями интенсивностей эмиссий 557.7 и 630 нм и уровнем солнечной активности приходится на периоды отрицательных значений индекса Эль-Ниньо–Южное колебание. Высказано предположение, что многолетние вариации эмиссий 557.7 и 630 нм, как и нарушение синфазности между межгодовыми вариациями интенсивностей эмиссий 557.7 и 630 нм и уровнем солнечной активности в отдельные годы, могут быть следствием совместного влияния солнечной активности (с периодами ~ 11 лет) и динамики нижележащей атмосферы (с периодами ~ 2–7 лет) или ее аномалий в отдельные годы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00243-а, программы Президиума РАН № 16 (часть 3), а также в рамках российско-болгарского проекта «Атмос».

Влияние микроволнового поля на спектры ридберговских атомов в атмосфере космических объектов

Захаров М.Ю. (mikhail.zakharov@gmail.com)

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В астрофизических исследованиях замечены аномалии в спектрах космических объектов. В частности в газовой смеси водорода и гелия, сталкивающиеся пары атомов и молекул приводят к, так называемому, индуцированному столкновению поглощению. Одним из источников такого поглощения являются атомы, находящиеся в высоковозбужденных (ридберговских) состояниях. Возникающие ридберговские состояния имеют большие дипольные моменты и создают сильное поглощение именно в инфракрасном диапазоне спектра. Такие явления характерны для белых карликов, обладающих большим магнитным полем. Эффективным процессом образования ридберговских состояний атомов гелия в слабо ионизованных атмосферных слоях гелиевых белых карликов являются процессы ионизации и рекомбинации, происходящие в результате химических реакций.

В ридберговских атомах известно явление хаотического движения электрона по энергетическим состояниям под воздействием электромагнитного поля [1], которое может быть как внешним, так и наводиться общим электроном в квазимолекуле [2–4] при реакциях хемоионизации. Данные переходы по уровням энергии в конечном итоге могут приводить к ионизации. Процесс хаотического блуждания электрона может контролироваться либо через изменение внутриатомного потенциала, либо внешним постоянным электрическим полем, что приводит к увеличению продолжительности существования ридберговского атома в

микроволновом поле. И как следствие, приводит к увеличению влияния процессов поглощения в инфракрасном диапазоне.

Темой исследования являлась проверка через численное моделирование теории динамического хаоса в ридберговских атомах и теории управления.

1. Gontis V., B. Kaulakys. Stochastic dynamics of hydrogenic atoms in the microwave field: modeling by maps and quantum description. *J. Phys B: At. Mol. Phys.*, 1987, **20**, 5051.
2. Безуглов Н.Н., Бородин В.М., Ключарев А.Н. и др. Расчет констант хемоионизации в субтепловых столкновениях ридберговских атомов. *Оптика и спектроскопия*, 1997, **82**, 334.
3. Думан Е.Л., Шматов И.П. Ионизация высоковозбужденных атомов в собственном газе. *ЖЭТФ*, 1980, **78**, 2116–2124.
4. Mihajlov A.A. and R.K. Janev. Ionization in atom-Rydberg atom collisions: ejected electron energy spectra and reaction rate coefficients. *J. Phys.*, 1981, **14**, 1639–1653.

Приближенный метод учета аэрозольного рассеяния в задаче переноса излучения в полосах CO₂ в ближнем инфракрасном диапазоне в атмосфере Марса

Огибалов В.П. (vpo@lmura.phys.spbu.ru)

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак-т, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В атмосфере Марса постоянно присутствуют аэрозоли со значительной оптической толщиной (τ_d) в видимом и ближнем инфракрасном (БИК) спектральном диапазоне: от 0.1–0.3 в спокойной атмосфере, до порядка 5.0 в периоды глобальных пылевых бурь (ГПБ). Аэрозоли во многом определяют освещенность поверхности и тепловой режим и, таким образом, участвуют в формировании климата Марса. В сравнительно разреженной углекислой атмосфере Марса редкость молекулярных столкновений, с одной стороны, и высокая скорость возбуждения колебательных состояний молекул CO₂ при поглощении солнечного ИК излучения, с другой стороны, приводят к нарушению больцмановского распределения населённости колебательных состояний молекул, т.е. имеет место колебательное НЛТР. Колебательное НЛТР для состояний молекул CO₂, радиационные переходы с которых формируют 4.3 и 2.7 мкм полосы, имеет место выше 20 км, для 2.0 мкм полосы аналогичная высота составляет менее 10 км, а для 1.6 мкм и более коротковолновых полос колебательное НЛТР опускается до поверхности планеты. При этом оптическая толщина марсианской атмосферы для различных колебательно-вращательных (К-В) радиационных переходов (τ_{CO_2}), которые надо учитывать в НЛТР модели переноса излучения (ПИ) для БИК полос CO₂, варьирует в очень широком диапазоне. Для фундаментальных переходов К-В полос молекулы C¹²O¹⁶₂ около 1.6, 1.4, 1.25, 1.2 и 1.05 мкм величины τ_{CO_2} составляет соответственно $4.9 \cdot 10^2$, $1.5 \cdot 10^3$, 87.7, 34.5, 1.75, т.е. сравнимы с τ_d .

В работах [1–2] задача ПИ в К-В полосах с учетом колебательного НЛТР в атмосфере Марса решалась методом, использующим технику ускоренных лямбда-итераций при решении системы уравнений для нахождения неравновесных населённости колебательных состояний молекул CO₂ и процедуру Фотрие, которая является высоко эффективной для решения уравнения переноса излучения (УПИ). В [2] было проведено решение указанной задачи при учете только поглощения излучения аэрозолями на частотах К-В полос CO₂, т.е. не рассматривался наиболее трудно учитываемый эффект аэрозольного рассеяния. Даже в пренебрежении рассеянием было указано на существенное влияние аэрозольного поглощения излучения в БИК спектре на населённости высоких колебательных состояний молекулы CO₂.

Таким образом, учет аэрозольного рассеяния является *актуальной* задачей. В данной работе для решения задачи ПИ в БИК полосах CO₂ было выполнено обобщение двух классических случаев, традиционно рассматриваемых отдельно друг от друга в теории переноса излучения (монохроматическое рассеяние излучения с перераспределением по

направлениям и рассеяние излучения в спектральных линиях с перераспределением по частоте).

Был модернизирован метод решения задачи ПИ в БИК полосах CO₂, позволяющий учесть процесс рассеяния излучения на аэрозолях в транспортном приближении, т.к. процедура Фотри применима для решения УПИ в случае, если функция источников не зависит от угловых переменных. Кроме того, данный метод позволяет учесть отражение излучения в полосах CO₂ поверхностью планеты. Для простой модели марсианских аэрозолей, использовавшейся в [2], получены первые оценки влияния аэрозольного рассеяния на неравновесные населенности колебательных состояний молекулы CO₂.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-05-00862-а).

1. Огибалов В.П. и Швед Г.М. Усовершенствованная оптическая модель для задачи нарушения локального термодинамического равновесия для молекулы CO₂ в атмосфере Марса. Ночные населенности колебательных состояний и скорость лучистого охлаждения атмосферы. *Астрономический Вестник*, 2003, 37, 1, 23–33.
2. Огибалов В.П. Перенос излучения в полосах CO₂ в ближнем инфракрасном диапазоне при учёте поглощения излучения в континууме аэрозольными частицами в атмосфере Марса. *Вестн. С.-Петерб. Ун-та*, 2008, сер. 4, вып. 4, 27–36.

Recent advances in the development, evaluation, and application of regional air quality models at U.S. EPA

Napelenok Sergey (Napelenok.Sergey@epamail.epa.gov)

U.S. Environmental Protection Agency, Mail Drop E243-04, 109 T.W. Alexander Drive, Research Triangle Park, NC 27711, USA

With considerable research and regulatory activities of the past decade, concentrations of inorganic PM constituents (sulfate and nitrate) have started to trend downward. Thus, ambient levels of organic carbon aerosols have continued to gain in become a larger fraction of total particulate matter. While the primary fraction of organic carbon is fairly well understood, the chemistry and transport of secondary organic aerosol (SOA) has continued to be a challenge.

To address this issue, U.S. EPA's Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) modeling system was updated to include several recently identified secondary organic aerosol (SOA) formation pathways and precursors. Gas phase emissions of isoprene, sesquiterpenes, and benzene have been parameterized according to the absorptive partitioning theory as possible precursors of SOA with accompanying changes to emissions processing. In-cloud oxidation of glyoxal and methylglyoxal was incorporated into the model as a pathway for SOA formation. The formation of SOA from isoprene under acidic conditions was enhanced according to results from recent chamber experiments. The formation of SOA from aromatics (xylene, toluene, and benzene) has been modified to include a low-NO_x pathway where aromatic peroxy radicals react with HO₂ leading to formation of non-volatile SOA. Additionally, semi-volatile SOA was allowed to polymerize to reduce its volatility over time. Also, some parametric updates were included, such as the enthalpies of vaporization for the semi-volatile species, to reflect recent measurements.

Preliminary testing of the updated SOA module reveal several improvements including better diurnal and seasonal patterns of SOA predictions, higher concentrations of secondary organics from anthropogenic sources, and better spatial patterns of biogenic SOA.

Калибровка бортового инфракрасного фурье-спектрометра ИКФС-2

Козлов Д.А., Завелевич Ф.С. (zavelevich@kerc.msk.ru), Болмосов И.В.
ФГУП "Центр Келдыша", Онежская 8, 125438 Москва, Россия

Разрабатываемый бортовой инфракрасный фурье-спектрометр ИКФС-2 предназначен для измерения спектров исходящего излучения атмосферы Земли с последующим восстановлением таких важнейших метеорологических параметров, как вертикальные профили температуры и влажности в тропосфере, общее содержание и высотное распределение озона, концентрации малых газовых составляющих, температура подстилающей поверхности и др. При этом калибровка является ключевым этапом создания прибора, обеспечивающего точность измерения, необходимую для успешного решения обратной задачи распространения излучения в атмосфере.

Наземная калибровка прибора связана с разработкой алгоритмов преобразования измеряемых прибором интерферограмм в истинные спектры излучения наблюдаемых тестовых объектов (эталонное черное тело с известной температурой; кювета заполненная газом) с обеспечением требуемой точности при различных тепловых состояниях прибора. При этом решаются следующие задачи:

- привязка измеряемых спектров к шкале волновых чисел;
- коррекция нелинейных искажений в интерферограммах, вносимых фотоприемником и предварительным усилителем;
- радиометрическая калибровка измеряемых прибором спектров по двум опорным источникам;
- определение излучательной способности бортового модуля калибровки;
- измерение аппаратной функции прибора.

На основании результатов испытаний, проведенных на стенде СТВИ ФГУП "Центр Келдыша", были получены основные выходные характеристики технологического образца прибора (спектральное разрешение, пороговые уровни обнаружения в терминах яркости (NESR) и температуры (NEdT), остаточные уровни ошибки калибровки).

Авторский указатель

Абакумова Г.М.	103, 105, 115	Виролайнен Я.А.	31, 33, 34
Акименко Р.М.	46	Вишератин К.Н.	151, 152, 163
Акулинин А.А.	119	Власенко С.С.	94, 101
Александров В.Ю.	24, 25	Власов А.А.	147
Алленов М.И.	96, 97	Воейков С.В.	141
Алоян А.Е.	77	Волков В.А.	24
Аммосов П.П.	142, 145, 150, 170, 171	Волкова Е.В.	20
Ананьев Л.Б.	32	Волкова К.А.	50
Андреева Е.С.	155	Волкович А.Н.	14, 69
Андрианов А.Н.	14, 62, 69	Воронина Ю.В.	67
Антошкин Л.В.	133	Вошинников Н.В.	99
Арефьев В.Н.	45, 46, 48	Гаврилов А.А.	144, 148
Артюхов А.В.	96, 97	Гаврилов Н.М.	146
Арутюнян В.О.	77	Гаврилович А.Б.	14, 62
Асташкин А.А.	15	Гаврильева Г.А.	142, 145, 150, 170, 171
Бабаев А.С.	171	Галин В.Я.	7, 161
Балашевич Н.	38, 41	Ганьшин А.В.	28
Балдина Е.А.	110	Гарипов Г.К.	124
Баранов Ю.И.	46	Голобокова Л.П.	126
Басс Л.П.	36, 63	Голоуб Ф.	38, 41
Бедарева Т.В.	88	Голуб Ф.	40
Белан Б.Д.	113	Горбаренко Е.В.	103, 105, 115
Беляев Д.А.	159	Горчаков Г.И.	10, 83
Береснев С.А.	17, 95, 162	Горчакова И.А.	79
Берто Ж.-Л.	159	Готлиб В.М.	124
Бобылев В.И.	15	Гречко Е.И.	11, 37
Бобылев Л.П.	18	Грибанов К.Г.	17, 22, 29
Болмосов И.В.	176	Груздев А.Н.	35, 157
Борзак В.В.	15	Грязин В.И.	95, 162
Борисов Ю.А.	130	Гуревич А.В.	124
Борисова Н.Ф.	98	Гурченков Д.А.	123
Бочковский Д.А.	58	Гущин Г.К.	105
Брассёр Г.П.	157	Данилевский В.	40
Бреднихин С.А.	65	Девятова Е.В.	136, 141
Бугрим Г.И.	46	Деминов И.Г.	158
Будак В.П.	70, 71, 73, 74	Денисов С.	41
Бурлаков А.В.	7, 160	Джола А.В.	11, 37, 49
Бурлаков В.Д.	128	Дмитриев Е.В.	15
Бурнашов А.В.	91	Дмитриева-Арраго Л.Р.	89, 100
Вандайль А.К.	159	Добровольский Ю.Г.	127
Варгин П.Н.	135	Довгалюк Ю.А.	102
Васильев А.А.	59	Долгий С.И.	128
Велесь А.А.	56	Дорохов В.М.	160
Веремей Н.Е.	102	Драгомирецкий В.В.	163
Вилард Э.	159	Дроздов Д.В.	53
Вилькет В.	159	Дубовик О.	38, 41
Виноградов И.И.	21	Дубровская О.А.	91
Винокуров А.А.	99	Дымников В.П.	137

Евдокимова Н.А.	7, 166	Карпов А.В.	83
Егоров А.Д.	44, 84	Карпова Н.В.	142
Егоров В.Д.	15	Катцов В.М.	108
Елисеев А.А.	125	Кауристие К.	147
Елохов А.С.	35, 36, 49	Кацев И.Л.	68, 72, 93
Емиленко А.С.	80	Кашин Ф.В.	45, 46, 47
Ермоленко С.И.	142	Кирюшов Б.М.	28, 160
Ефимкин К.Н.	14, 62, 69	Киселев А.В.	132
Жендарев М.В.	123	Климов С.И.	124
Журавлёв Р.В.	28	Клюйков Д.А.	73
Журавлева Т.Б.	66, 88, 112	Ковадло П.Г.	141
Заболотских Е.В.	18	Коваль А.В.	146
Завелевич Ф.С.	176	Козак А.В.	40
Завьялов Н.Н.	99	Козлов Д.А.	176
Задорожный А.М.	158	Козлов И.Е.	28
Заре А.	119	Козодеров В.В.	15, 62
Зарубин А.С.	149	Козодоева Е.В.	75
Захаров В.И.	17, 29	Колбудаев П.А.	165
Захаров М.Ю.	173	Колтовской И.И.	150, 170, 171
Захваткина Н.Ю.	24, 25	Комраков Г.П.	153
Звягинцев А.М.	153	Кондранин Т.В.	15
Зеге Э.П.	44, 68, 72, 76, 93	Кондратюк В.И.	97
Зелёный Л.М.	124	Копейкин В.М.	81, 83
Иванов А.П.	8, 93, 121	Кораблев О.И.	21, 132, 159
Иванов А.Ю.	21	Коркин С.В.	70
Иванов В.А.	36, 49	Корниенко Г.И.	85
Иванова А.С.	136	Коробейникова Е.А.	163
Ивлев Г.А.	113	Королев К.Н.	74
Ивченко В.	40	Король Я.А.	38, 41
Игнатова Н.И.	48	Коросов А.А.	25, 26
Игнатъев А.Н.	34	Коршунов Л.И.	28, 151
Ильин В.Б.	99	Косцов В.С.	50, 55, 167
Илюшин Я.А.	71	Кохановский А.А.	13, 63, 66, 93
Имасу Р.	29	Кочнева Л.Б.	95
Ионов Д.В.	51, 55	Кошкин Н.И.	163
Исаков А.А.	82	Крамчанинова Е.К.	12
Исаченко Г.А.	30	Красильников А.А.	50, 153
Ишин А.Б.	141	Краснокутская Л.Д.	14
Йоханнессен О.М.	25	Краус Т.В.	102
Йыевезэр А.	105	Кропоткина Е.П.	34
Кабанов Д.М.	112	Крысанов Б.Ю.	145
Кабанов Д.М.	85, 86, 88, 126	Кудрявцев В.Н.	27
Кадыгров Е.Н.	83	Кузнецов В.С.	63
Калашник М.В.	137, 138	Кузнецов Р.Д.	37
Калашникова С.А.	155	Кузьменков Д.О.	154
Каллис А.	105	Кулешова В.А.	172
Каменцев В.П.	15	Куликов В.Н.	84
Каннель М.	105	Куликов Ю.Ю.	50, 153
Капица А.П.	144, 148	Кулямин Д.В.	137
Каргин А.Б.	66	Куницын В.Е.	145, 155
Каргин Б.А.	15, 65, 66	Курбангалиев Т.Р.	59
Кароль И.Л.	5	Курбатов Г.А.	83, 129

Кухарский А.В.	29	Огибалов В.П.	167, 175
Кшевецкая М.А.	34	Окулов О.	105
Лавринов В.В.	133	Оппель У.Г.	72
Лавринова Л.Н.	133	Орлович В.А.	121
Ланкин Ю.П.	167	Осипенко Ф.П.	121
Лапенко Т.	38, 41	Осипов В.М.	19, 30, 98
Лаулайнен Н.	105	Осипов Д.В.	30
Лисинецкий В.А.	121	Осипов С.И.	55
Лисицын А.П.	126	Охвирль Т.	105
Лопатин А.Ю.	41	Ощепков С.Л.	28
Лукин В.П.	34, 133	Павленко Я.В.	56
Лукьянов А.Н.	28	Панченко М.В.	90, 126
Лякишев В.Г.	21	Партола В.С.	116
Макарова М.В.	34, 53, 55	Перевалова Н.П.	141
Макеев А.П.	128	Перевертайло А.В.	127, 131
Макитов В.С.	102	Перельман А.Я.	84
Макмиллан У.У.	11	Перминов В.И.	164, 165
Максакова С.В.	14, 62, 69	Перов В.Л.	89
Максютов Ш.Ш.	28	Перцев Н.Н.	149, 164, 165
Малинка А.В.	44	Пестунов И.А.	92
Мальбахов В.М.	92	Петрушин А.Г.	94
Мануйлова Р.О.	171	Поберовский А.В.	34, 50, 51, 55
Маричев В.Н.	154	Погорельцев А.И.	139, 143, 147, 149
Маслакова С.С.	167	Поддубный В.А.	42, 85
Маслов И.А.	42, 58	Поздняков Д.В.	26
Маслова Л.А.	84	Поканевич А.П.	131
Матюгин В.А.	108	Покровский О.М.	109
Махоткина Е.Л.	107	Поликарпов А.А.	119
Махье А.	159	Полькин В.В.	126
Мацкевич В.М.	131	Поляков А.В.	17, 18, 31, 33, 34
Медведева И.В.	169, 173	Померо Ж.П.	151
Мелешко В.П.	5	Попов В.М.	131
Меркулов В.В.	101	Постыляков О.В.	49, 64
Миллер Е.А.	37, 83, 129	Потапова И.А.	44
Мингалева И.В.	166	Привалов В.И.	133
Митник Л.М.	18	Прихач А.С.	68, 93
Михайлов Е.Ф.	94, 101	Прохоров И.В.	61
Михалев А.В.	169, 173	Птицын М.О.	124
Мордвинов В.И.	136, 141	Ракитин А.В.	34, 55
Морозов Е.А.	26	Ракитин В.С.	37, 49
Мохов И.И.	32, 79	Раух М.В.	84
Музылев Е.Л.	20	Резников А.И.	30
Мясоедов А.Г.	27	Ржонсницкая Ю.Б.	44
Насртдинов И.М.	86, 87	Роговцов Н.Н.	60
Незваль Е.И.	104	Родин А.В.	7, 21, 160, 165, 166
Нейман Л.	105	Родин В.Г.	124
Нерушев А.Ф.	12	Розанов В.В.	13
Николаева О.В.	36, 63	Розанов С.Б.	34
Никольский Г.А.	114	Романенко Ф.А.	107
Нильсен Й.	151	Романов С.В.	29
Новиков Н.Н.	96	Романовский О.А.	52, 58, 128
Новиков П.В.	154	Ростов А.П.	126

Ростовцева И.О.	55	Терез Э.И.	40, 105
Рубинштейн К.Г.	140	Терпугова С.А.	90
Рублев А.Н.	36, 79, 89	Тимофеев Ю.М.	17, 18, 31, 33, 34, 50, 167
Румянцев Д.В.	125	Третьяков Д.Н.	97
Руссак В.	105	Третьяков Н.Д.	96, 97
Рыбаков Ю.В.	53	Троицкий А.В.	37
Рыбакова А.К.	7	Трохимовский А.Ю.	21
Рыбченко Л.С.	106, 117	Турчинович С.А.	86, 126
Рышкевич Т.И.	101	Турчинович Ю.С.	86
Савенкова Е.Н.	139, 142	Угольников О.С.	42, 58
Савчук С.В.	117	Ужегов В.Н.	90
Сакаш Г.С.	167	Уилсон Дж.	7
Сакаш И.Ю.	167	Уондингер У.	44
Сакерин С.М.	85, 86, 88, 112, 126	Упэнэк Л.Б.	46
Сандвен С.	24	Успенский А.Б.	18, 20, 29, 33
Саноцкая Н.А.	44, 84	Успенский С.А.	33
Свертилов С.И.	124	Уустаре М.	105
Свириденков М.А.	79, 111	Фалалеева В.А.	118
Семакин С.Г.	31	Фарафонов В.Г.	99
Семенов А.И.	156	Фарафонов Вяч.Г.	99
Семенов А.О.	166	Федоров В.В.	160
Семенов В.К.	45, 46, 48	Федорова А.А.	7, 21, 159
Сизов Н.И.	46, 151	Филиппов Г.Н.	19
Синькевич А.А.	102	Филиппова У.Г.	126
Синявский И.И.	56	Фирсов К.М.	67, 75
Синяков В.П.	45, 46, 48	Фокеева Е.В.	37, 49
Скляднева Т.К.	113	Фомель Х.	151
Скоров Ю.В.	166	Фомин Б.А.	14, 118, 130
Слесарь А.С.	121	Фролов В.Л.	153
Смирнов А.В.	85	Фролов И.Е.	25
Смирнова М.М.	140	Фролькис В.А.	5
Смыков В.П.	119	Хайкин С.М.	28, 151
Смышляев С.П.	7, 161	Харин А.С.	100
Соловьев В.И.	33	Харченко О.В.	52, 58, 128
Соломатникова А.А.	122, 133	Хиршбергер М.	72
Соломонов С.В.	34	Ходжер Т.В.	126
Сорокина Л.И.	48	Хутко И.С.	121
Сосонкин М.	40	Хуторов В.Е.	59
Спорышев П.В.	108	Хуторова О.Г.	59
Старцева З.П.	20	Цветков А.В.	105
Степаненко В.Д.	102	Цветкова Н.Д.	135, 160
Страхова С.Л.	163	Чайковская Л.И.	72, 76
Стрелков С.А.	14, 62, 69	Чайковский А.П.	8, 38, 41, 121
Суворова Е.В.	143	Черемисин А.А.	154
Сухинин А.И.	92	Чернокульский А.В.	32
Суходоев В.А.	165	Чеснокова Т.Ю.	67, 75
Сушкевич Т.А.	14, 15, 62, 69	Чубарова Н.Е.	104, 111, 116
Тарасенко Л.И.	131	Шабашкевич Б.Г.	127
Тее М.	105	Шаврина А.В.	56
Тептин Г.М.	59	Шакун Л.С.	163
Тераль Х.	105	Шаламянский А.М.	9, 122, 133
Терез Г.А.	40, 105		

Шалина Е.В.	23	Яговкина И.	34
Шари В.П.	69	Якименко И.В.	123
Шатунова М.В.	89, 100	Яковлев С.В.	52, 58, 128
Швед Г.М.	142, 166	Янковский В.А.	171, 172
Шевченко В.П.	126	Arola A.	54
Шематович В.И.	169	Bleuten W.	17
Шеминова В.А.	56	Groebner J.	104
Шереметьева Т.А.	19, 30	Hanna Adel	150
Шефов Н.Н.	156	Huttunen J.	54
Шилкин А.В.	152, 163	Imasu R.	17
Шиловцева О.А.	78, 107, 110	Komppula M.	54
Шкиренко Э.А.	131	Lehtinen K.E.J.	54
Шмаргунов В.П.	126	McMillan W.	54
Шмидт Й.	44	Мемариан М.Х.	119
Шмидт Х.	157	Mielonen T.	54
Шульц Э.О.	114	Napelenok S.	175
Щукин Г.Г.	53	Natunen A.	54
Юрганов Л.Н.	11	Ohmura A.	104
Юшков В.А.	28, 135, 151, 160	Wilson R. Chris	54
Юшков В.П.	57, 129, 140	Yurganov L.	54