

Российская Академия Наук
Волжское региональное отделение Научного совета РАН
по комплексной проблеме "Распространение радиоволн"
Министерство образования Российской Федерации
Научно-исследовательский радиофизический институт
IEEE AP-S Nizhny Novgorod Joint Chapter

Второй региональный научный семинар

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МИКРОВОЛН В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ

*Нижний Новгород
18 ноября 2003 г.*

Нижний Новгород 2003

Второй региональный научный семинар
РАСПРОСТРАНЕНИЕ МИКРОВОЛН В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ.
Препринт № 480. – Нижний Новгород: НИРФИ, 2003. – 32с.

УДК 551.521.3

В препринт включены тезисы докладов, представленных на Второй региональный научный семинар "Распространение микроволн в природных средах". В докладах приведены новые результаты исследований поглощения, рассеяния и поляризации в природной среде, а также достижения в области дистанционного зондирования атмосферы и земной поверхности. Представлены новые разработки приемной радиометрической аппаратуры микроволнового диапазона для исследования распространения микроволн в природной среде.

Семинар посвящен памяти доктора физико-математических наук, профессора, руководителя отдела НИРФИ "Физика распространения микроволн и дистанционное зондирование природных сред" НАУМОВА Альберта Поликарповича.

Программный комитет семинара:

Снегирев С.Д. (председатель), Троицкий А.В. (сопредседатель),
Кисляков А.Г., Китай Ш.Д., Федосеев Л.И., Шейнер О.А.

© Научно-исследовательский радиофизический институт, 2003

МИКРОВОЛНОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ ЗИМОЙ 2002–2003 гг.

В. Г. Рыскин, А. А. Красильников, Л. М. Кукин, Ю. Ю. Куликов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

Целью данной работы являлось исследование вертикальной структуры озонового слоя в условиях зимней полярной стратосферы (интервал высот от 20 до 60 км). В период с ноября 2002 года по начало марта 2003 года мы выполнили измерения изменчивости озонового слоя в стратосфере высоких широт (Кольский полуостров, г. Апатиты: 67° с.ш., 35° в.д.). Наши наблюдения совпали по времени с проведением работ по международным программам изучения озонового слоя VINTERSOL и SOLVE II. Измерение количества озона в средней атмосфере осуществлялось с помощью методики микроволнового дистанционного пассивного зондирования с поверхности Земли. Спектральные измерения выполнялись с помощью неохлаждаемого спектрорадиометра, настроенного на резонансную частоту вращательного перехода озона ($4_{0,4} - 4_{1,3}$) – 101736,8 МГц.

На Рис.1 изображена временная зависимость среднесуточной плотности озона на высотных уровнях от 25 до 60 км, построенная по данным микроволнового зондирования в Апатитах. Две нижние панели рисунка содержат также данные о температуре на уровнях давления 20 гПа (T_{20}) и 10 гПа (T_{10}) для региона наблюдения из базы данных CPC/NCEP (<http://wesley.wvb.noaa.gov>). Анализ результатов микроволновых наблюдений показал, что с середины ноября по начало марта 2002–2003 гг. на высотах 20–30 км наблюдалось пониженное содержание озона. В ноябре–декабре 2002 г. и в январе 2003 г. за исключением третьей декады средняя величина плотности озона на высоте 25 км составила $(2,00 \pm 0,16) \cdot 10^{12}$ мол/см³, а с 1 февраля по 6 марта 2003 года – $(2,25 \pm 0,18) \cdot 10^{12}$ мол/см³ (Рис.1, нижняя панель). Наиболее продолжительные низкие значения содержания озона на высоте 25 км отмечались в отдельные дни ноября и декабря 2002 года – менее $2 \cdot 10^{12}$ мол/см³, когда температура на уровне 20 гПа опускалась ниже 195 К. Надо отметить, что большую часть наблюдаемого времени в зимнем сезоне 2002–2003 гг. воздушные массы над Северной Европой располагались внутри стратосферного полярного вихря, который был достаточно интенсивен в широком диапазоне высот, особенно в ноябре–декабре 2002 года (<http://wvms.nrl.navy.mil/POAM/solve2>). В третьей декаде января 2003 года в результате усиления волновой активности вихрь частично разрушился и сместился из района Кольского полуострова. В это время здесь наблюдалось мажорное стратосферное потепление (рост температуры на уровне 20 гПа составил ~ 40°).

Потепление сопровождалось увеличением плотности озона на 25 км более чем в два раза (с $2 \cdot 10^{12}$ до $4 \cdot 10^{12}$ мол/см³). Очевидно, что его влияние охватывало значительный интервал высот. Так, верхняя граница роста плотности озона по вертикали достигала высоты 40 км (см. Рис.1). Даже на этой высоте по микроволновым данным количество озона увеличилось в среднем с $2,4 \cdot 10^{11}$ до $3,1 \cdot 10^{11}$ мол/см³. Очевидно, что весь январь в средней и верхней стратосфере имели место значительные колебания озона, связанные с активизацией волновых процессов. Согласно данным, приведенным на сайте <http://wvms.nrl.navy.mil/POAM/solve2>, в это время на всех стратосферных уровнях наблюдались сильные деформации вихря и даже частичное его разрушение,

которые были вызваны усилением планетарных волн с волновыми числами $N=1$ и $N=2$.

Микроволновые данные свидетельствуют, что с середины ноября 2002 года до середины февраля 2003 года за исключением периода с 23 по 30 января (когда Апатиты располагались вне вихря) наблюдалось постепенное уменьшение количества озона на высоте 25 км в среднем с $2 \cdot 10^{12}$ мол/см³ до $1,5 \cdot 10^{12}$ мол/см³. Следует сказать, что согласно данным эксперимента РОАМ III в течение декабря, первой половины января и в начале февраля на этом уровне во внутренней части вихря систематически наблюдались полярные стратосферные облака (ПСО). В это время Апатиты находились внутри вихря, а температура стратосферы здесь опускалась ниже порога образования ПСО I типа. Вероятно, обнаруженное нами уменьшение озона обусловлено химическими потерями во внутренней части полярного стратосферного вихря. В то же время на высотах более 30 км падение озона наблюдалось лишь в ноябре и декабре. По нашим данным в этот период уменьшение количества озона составило 20% на уровне 30 км, 28% на высоте 40 км, 35% на высоте 50 км и 50% на уровне 60 км.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 01-02-16540, 03-02-31012).

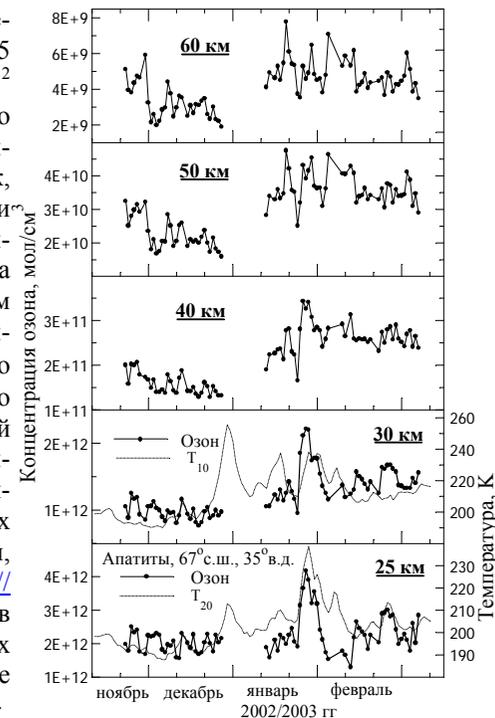


Рис. 1.

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЗОНА В СРЕДНИХ ШИРОТАХ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД 2002-2003 ГГ. ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

С.В. Соломонов, Е.П. Кропоткина, С.Б. Розанов

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

Атмосферный озон играет важную роль в излучении и поглощении электромагнитных волн, в атмосферной динамике, химии, тепловых процессах, в предохранении жизни от губительного ультрафиолетового биологически активного (УФ-Б) излучения Солнца.

Изучение закономерностей межгодовых, сезонных и более короткопериодных изменений вертикального распределения озона в условиях воздействия факторов естественного и техногенного происхождения важно для решения задач физики атмосферы, экологии, при планировании экспериментов по изучению условий распространения радиоволн, для создания систем космической радиосвязи на миллиметровых и субмиллиметровых волнах и т.д.

В ФИАН проводятся многолетние регулярные наблюдения (мониторинг) атмосферного озона с поверхности Земли на частотах сильной спектральной линии с центром на 142,175 ГГц, соответствующей вращательному переходу озона $10_{0,10}-10_{1,9}$. Методика восстановления вертикального профиля содержания озона из измеренной спектральной линии изложена в [1]. Выполненные ранее наблюдения в ФИАН показали [2], что наиболее значительные изменения в озоновом слое средних широт происходят в холодное полугодие, когда сформирован стратосферный полярный вихрь (циркумполярный циклон), и когда в центральной его части происходит разрушение озона.

Вопрос о влиянии процессов в полярном стратосферном вихре на озоносферу средних широт широко обсуждается в литературе (см., например, [3]). В данной работе исследованы изменения вертикального распределения озона (ВРО) над Московским регионом под влиянием атмосферной динамики, процессов в полярном вихре в холодный период 2002–2003 гг. При анализе наблюдений ВРО на миллиметровых волнах были использованы данные аэрологического зондирования, полученные в отечественных и зарубежных обсерваториях (ЦАО, Гидрометцентр, ECMWF [4]). Данные содержат информацию о пространственно-временном распределении температуры, давления, высот геопотенциальных поверхностей в стратосфере. Использовались также данные о потенциальной завихренности, которая, как известно, является адиабатическим инвариантом, удобным для анализа атмосферных движений.

Холодный период 2002–2003 гг. характеризовался глубоким полярным вихрем уже к концу ноября 2002 г. С другой стороны, этот холодный период отличался необычайно большой планетарной волновой активностью. Мощные динамические процессы, протекавшие с 1 декабря по 31 марта, привели к тому, что стратосфера над Москвой была внутри центральной области полярного вихря в течение 70 дней из 120 дней.

Динамические процессы холодного периода 2002–2003 гг. привели к ряду особенностей в вертикальном распределении озона над Москвой. Весь декабрь и начало января, когда стратосфера над Москвой была внутри вихря, наблюдалось сильное истощение озона в интервале высот 25–45 км. Оно достигало 50% по сравнению со справочной моделью COSPAR. Зарегистрированное внутри вихря содержание озона на высоте 30 км составляло около $2,5 \cdot 10^{-6}$ в декабре 2002 г., затем около $3,5 \cdot 10^{-6}$ в январе 2003 г., около $4,5 \cdot 10^{-6}$ в феврале и, наконец, $5,7 \cdot 10^{-6}$ в марте, что свидетельствует о постепенном увеличении содержания озона внутри вихря. Этот интересный экспериментальный факт показывает, что изолированность воздуха внутри полярного вихря не является полной. Мощные динамические процессы, протекавшие в стратосфере в январе–марте 2003 г. сопровождалась струйными течениями, которые переносили тёплый, богатый озоном воздух из низких широт в высокие. Перемешивание полярного воздуха с этим воздухом и привело к постепенному увеличению содержания озона внутри вихря.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном влиянии процессов в полярном вихре на состояние озоносферы в средних широтах и подтверждают известную концепцию истощения озонового слоя внутри полярного стратосферного вихря и последующего перемешивания воздуха вихря с воздухом средних широт [3].

Работа поддержана грантами РФФИ № 03-02-17436, «Ведущие научные школы» НШ-1254.2003.2, ФЦП «Интеграция», ФЦНТП, а также по программе фундаментальных исследований ОФН РАН «Проблемы радиофизики».

Литература

1. Гайкович К.П., Кропоткина Е.П., Соломонов С.В. // Изв. АН. ФАО. 1999. Т.35, № 1. С. 86.
2. Соломонов С.В. // Успехи современной радиоэлектроники. 2003. № 1. С. 9.
3. Staehelin J., Harris N.R., Appenzeller C., Eberhard J. // Rev. Geophys. 2001. V. 39, № 2. P. 231.
4. ECMWF Analyses – Arctic Polar Vortex. <http://www.ecmwf.int>, <http://www.pa.op.dir.de/arctic>.

ВАРИАЦИИ ОЗОНА ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 31 МАЯ 2003 ГОДА ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А. А. Красильников, Ю. Ю. Куликов, В. Г. Рыскин, Л. И. Федосеев

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

Во время затмений озоновый слой Земли испытывает воздействие переменного озоноактивного излучения Солнца (длины волн 200–400 нм). Изменения величины и спектрального состава потока ультрафиолетового излучения в период солнечного затмения могут вызвать как колебания общего содержания озона (ОСО), так и его вертикального распределения. Как правило, во время затмений проводятся наблюдения вариаций ОСО. В литературе [1–5] приводятся разноречивые результаты о поведении ОСО в период солнечных затмений. Что касается вариаций вертикального профиля озона в период солнечных затмений, то сведений о них немного [6, 7]. Очевидно, что изменения озона должны происходить в верхней части слоя (выше 40 км), где время релаксации O_3 мало (фотохимическое время жизни – около минуты). Высотный интервал 40–80 км является частью озонового слоя с наиболее быстрым откликом к изменениям радиации Солнца, которые вызывают здесь значительные суточные вариации O_3 . Наиболее подходящим инструментом для исследования отклика озона верхней атмосферы на затмение Солнца является метод наземной микроволновой радиометрии с его высоким временным разрешением.

Микроволновые наблюдения стратосферного озона были проведены во время частного солнечного затмения 31 мая 2003 года (максимальная фаза около 70%) в Нижнем Новгороде (56°с.ш., 44°в.д.). Аппаратура и методика измерения спектра атмосферных линий озона описаны в работе [8]. В наблюдениях был использован вращательный переход озона $J = 6_{1,5} - 6_{0,6}$ на резонансной частоте 110836.04 МГц. Определение вертикального профиля плотности озона на высотах 20–60 км осуществлялось методом подгонки. Точность оценки профиля на указанных высотах не превышает 20%.

На рис. 1 представлены результаты наблюдений стратосферного озона на высотах более 20 км 30–31 мая 2003 года. Верхняя кривая на рис. 1 отображает поведение тропосферного ослабления (яркостная температура – T_{cont}), величина которой характеризует условия наблюдения линии озона. Тропосферное ослабление составляло величину менее 0.2 Нп, следовательно, условия наблюдений были хорошими. Нижняя кривая на рис. 1 отображает временной ход озона в слое 20–60 км – это спектральный канал, который настроен на резонансную частоту вращательного перехода O_3 . Данный канал измеряет интенсивность атмосферной линии озона, как температур-

ное приращение ΔT_{O_3} относительно опорного спектрального канала. Квадратами обозначены усредненные за два часа величины ΔT_{O_3} . Кругом обозначено значение ΔT_{O_3} во время затмения. Вертикальными пунктирными линиями (крупными) отмечены моменты захода и восхода Солнца, а мелким пунктиром моменты начала и конца затмения. На рисунке хорошо заметны суточный ход O_3 и рост озона во время затмения. Причем, по результатам восстановления вертикального профиля озона его увеличение произошло на высотах более 40 км. На высоте 60 км рост плотности O_3 при переходе от дня к ночи составил около 80%, а при затмении – около 50%. Таким образом, нам удалось зафиксировать возрастание мезосферного озона во время частного солнечного затмения.

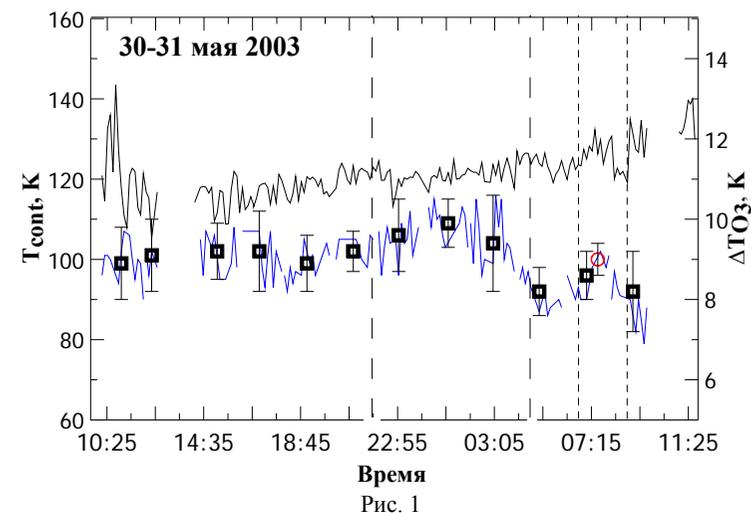


Рис. 1
Авторы благодарят РФФИ за финансовую поддержку (грант 03-05-64311).

Литература

1. Хргиан А.Х. Физика атмосферного озона. Л.: Гидрометеиздат, 1973.
2. Стеблова Р.С. // Геомагнетизм и аэрономия. 1962. Т. 2. С. 148.
3. Vojkov R.D. // Tellus. 1968. V. 20. P. 417.
4. Chakrabarty D. K., Shah N. C., Pandya K. V. // Geophys. Res. Lett. 1997. V. 24. P. 3001.
5. Гогошева Ц.Н., Петков Б.Х., Крыстев Д.Г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т. 42. С. 274.
6. Connor B.J., et al. // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. P. 16757.
7. Галкин С.В. и др. // Труды 6-й всероссийской конференции молодых ученых. Нижний Новгород. 2000. С. 37.
8. Красильников А.А., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г., Федосеев Л.И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1998. Т. 41, № 11. С. 1405.

ВАРИАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ АТМОСФЕРЫ В ЛИНИЯХ O₃ и N₂O

Е. И. Шкелев¹, А. Г. Кисляков¹, В. Л. Вакс², Д. В. Савельев¹

¹ Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия

² Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

Решение проблемы глобальных изменений в атмосфере Земли во многом опирается на исследование примесных составляющих атмосферы Земли. Исследования атмосферного озона (O₃) и закиси азота (N₂O) важны как сами по себе, так и во взаимосвязи. Причина в том, что закись азота содержит главную часть атмосферного связанного азота и служит стратосферным источником окислов азота, которые играют роль стоков O₃. Корреляция содержания N₂O и O₃ была выявлена в высокоширотных измерениях линии N₂O 276328 МГц при прохождении границы атмосферного полярного вихря над местом расположения наблюдательной станции [1]. Это позволило предложить измерение корреляции отношения смеси N₂O и параметров O₃ в качестве метода определения границ и степени уменьшения содержания озона в атмосфере. Понижение содержания озона отмечалось и в Москве по мере приближения к ней центра полярного вихря [2]. Такое явление также объясняется атмосферной циркуляцией (в особенности, вертикальным перемешиванием) которая способна, в принципе, приводить к изменениям локальной концентрации N₂O.

В данной работе представлены результаты первых среднеширотных одновременных измерений оптической толщи атмосферы в линиях вращательных спектров озона и закиси азота на частотах 101736 МГц и 100492 МГц, соответственно, в регионе г. Н. Новгорода в периоды с февраля по март 2000 и 2003 годов. Важным результатом этих измерений явилось то, что удалось зафиксировать значительное увеличение содержания N₂O и сопутствующее ему уменьшение O₃ в атмосфере во время перехода от зимы к весне (с февраля на март). Показано [3], что за первые полтора месяца весны 2000 года содержание закиси азота в области высот 20–40 км сильно увеличилось (по крайней мере, в 5 раз). Увеличение содержания N₂O было зафиксировано и в измерениях 28 февраля и 4–7 марта 2003 года. Оба эти результата можно объяснить переносом воздушных масс из более низких широт: содержание закиси азота на высоте ~30 км над экватором на порядок выше, чем в средних широтах. Сопутствующий увеличению содержания N₂O спад общего содержания атмосферного озона составил примерно 30%. Результаты расчетов и одновременных измерений N₂O и O₃ демонстрируют возможность не только радиометрического контроля их содержания

и высотного распределения, но и процессов, контролирующих сток атмосферного озона.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант 01-02-16435), а также грантом Президента РФ № НШ-1483.2003.2 для ведущей научной школы. Кроме того, исследования проводились по федеральной программе «Интеграция» (раздел «Фундаментальная радиофизика»).

Литература

1. *Emmons L. K., Reeves J. V., Shindell D. T., Zafra R. L.* // *Geophys. Res. Lett.* 1992. V. 21, № 13. P. 1275.
2. *Соломонов С.В.* // *Успехи современной радиоэлектроники.* 2003. № 1. С. 9.
3. *Кисляков А.Г., Савельев Д.В., Шкелев Е.И., Вакс В.Л.* // *Труды четвертой научной конференции по радиофизике.* Н. Новгород: ННГУ. 2000. С. 155.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ И АТМОСФЕРНЫЙ ОЗОН. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

Ю. Ю. Куликов¹, А. Г. Кисляков², И. П. Ястребов²

¹ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

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

Рассмотрен вопрос влияния потоков протонов и нейтронов на содержание озона в стратосфере. Недавние исследования показали, что вариации числа нейтронов в приземном слое атмосферы коррелируют с изменениями интенсивности радиoliniй озона [1]. В данной работе для анализа были использованы данные микроволновых наблюдений в Апатитах (67°с.ш., 35°в.д.), Кольский полуостров, и в Нижнем Новгороде (56°с.ш., 44°в.д.). Наблюдения проводились в 1998–2003 гг. в периоды, как правило, приходящиеся на зимние сезоны [2, 3]. По усредненным в течение дня спектрам озона было произведено восстановление его профиля на высотах 25–60 км с ошибкой, не превышающей 10%. Для сопоставления с вариациями содержания озона рассмотрены данные нейтронных мониторов в Апатитах (<http://pgi.kolasc.net.ru/cosmicRay>) и в Троицке (Московская область, <http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>), и данные о количестве протонов, зарегистрированных на геостационарном спутнике GOES-8 (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.html>). В качестве величины, показывающей степень влияния указанных факторов на содержание озона, использовался нормированный коэффициент корреляции для усредненных за сутки временных рядов озона с рядами нейтронов или протонов, в дальнейшем K_N и K_P , соответственно.

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. По данным микроволновых наблюдений озона в умеренных и полярных широтах корреляция между изменениями плотности O_3 (уровни 25, 40 и 60 км) и потоков протонов близка к нулю или статистически незначима для спокойных периодов солнечной активности. В случае повышенной активности Солнца на высотах 40–60 км в полярных широтах в обоих рассмотренных случаях наблюдалось повышение K_P до 0.4 – 0.6. В умеренных широтах также было замечено повышение K_P , но ввиду большой ошибки его нахождения, значение нельзя рассматривать как достоверное.
2. Взаимосвязь изменений нейтронной компоненты и озона имеет следующую особенность: с ростом высоты от 25 до 60 км как в полярных, так и в умеренных широтах среднее значение K_N для отдельной высоты

меняет знак от отрицательного к положительному. В одних случаях – это переход от статистически значимого отрицательного значения $\sim - (0.4-0.6)$ до близкого к нулевому, в других – это изменение от статистически незначимого до значимого положительного, лежащего в интервале 0.2–0.7.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 01-02-16540, 01-02-16435 и 02-02-31002), а также финансировалась грантом Президента РФ № НШ-1483.2003.2 для ведущей научной школы. Кроме того, исследования проводились по федеральной программе «Интеграция» (раздел «Фундаментальная радиофизика»).

Литература

1. Кисляков А.Г., Ястребов И.П., Савельев Д.В., Шкелев Е.И. // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. (в печати).
2. Галкин С.В., Грязина Е.Н., Комраков А.А., Рабина Ю.А., Рябинина О.О., Куликов Ю.Ю. // Сб. трудов Международной конф. Физика атмосферного аэрозоля. (Москва, 12-17 апреля 1999 г.). М.: Диалог-МГУ, 1999. С. 429.
3. Красильников А.А., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2002. Т. 42, № 2. С. 265.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ РАССЕЯНИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛЕТНЕЙ ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЕ

А. В. Троицкий, А. В. Востоков, А. М. Ошарин

Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

Явление поляризации теплового микроволнового излучения облачной атмосферы было обнаружено в [1]. Это явление интерпретируется эффектами рассеяния микроволнового излучения на ледяных облачных кристаллах различной формы и ориентации. Выполненные исследования [1, 2] свидетельствуют, что сам эффект является не уникальным, а характерным явлением, по крайней мере, для зимней атмосферы. Вопрос о поляризации микроволнового излучения облачной атмосферы в летних условиях, когда облака находятся преимущественно при положительных температурах, оставался открытым.

В работе сообщаются результаты экспериментальных исследований поляризации теплового микроволнового излучения летней облачной атмосферы. Исследования проводились в мае–сентябре 2003 года в Н. Новгороде с помощью поляриметрических радиометров на длинах волн 3 и 8 мм на зенитных углах наблюдения 45° и 65° . Измерялись две ортогональные поляризации – вертикальная и горизонтальная (первый параметр Стокса) и их разность (второй параметр Стокса). Так же, как и для зимних условий, летом имеет место значительная поляризация микроволнового излучения облачной атмосферы во всём наблюдаемом интервале приземных температур $+10^\circ \div +32^\circ$.

Характерные величины второго параметра Стокса микроволнового излучения составили величины от десятых долей до единиц градусов в яркостной температуре. Имели место как вертикальная, так и горизонтальная поляризация излучения. В некоторых случаях наблюдался феномен разной поляризации излучения, соответственно, на длинах волн 3 и 8 мм. Во многих случаях величина поляризации на длине волны 8 мм превосходила или была одного порядка с аналогичными величинами на длине волны 3 мм. Эти эффекты наблюдались для облаков с большим и с малым водозапасом капельной фракции. Последний случай противоречит экспериментальным и теоретическим результатам, полученным в [2] для зимней атмосферы, которые свидетельствуют о том, что поляризация излучения на 3 мм в 4–6 раз превосходит аналогичное значение на 8 мм для случая малого водозапаса. По всей видимости, основной вклад в поляризацию теплового микроволнового излучения летней облачной атмосферы вносят эффекты рассеяния на обводнённых ледяных кристаллах, находящихся в т. н. слое таяния. Слой таяния располагается в районе нулевой изотермы и имеет вертикальные

размеры несколько сотен метров. Рассеяние микроволнового излучения на обводнённых кристаллических частицах и связанная с ним поляризация излучения существенно отличаются от рассеяния и поляризации на чисто кристаллических частицах, так как длина волны излучения в обводнённом кристалле становится значительно меньше его размера (в силу большой диэлектрической проницаемости) даже на длине волны падающего излучения 8 мм. В силу этого при рассеянии и поляризации микроволнового излучения значительную роль начинают играть интерференционные эффекты. Кроме того, начинает сказываться собственное излучение обводнённого кристалла (для сухого кристалла собственное излучение мало). Всё вышесказанное и может приводить к эффектам превышения величины второго параметра Стокса излучения на длине волны 8 мм относительно 3 мм.

В работе решена задача распространения поляризованного теплового микроволнового излучения в облаках, содержащих обводнённые кристаллы в слое таяния, на основе векторного уравнения переноса излучения для четырёхкомпонентного вектора Стокса. Обводнённые кристаллы моделировались либо сферическими кристаллами с водной оболочкой различной толщины, либо пластинками, состоящими из водно-ледяной смеси, диэлектрическая проницаемость которой рассчитывалась по формулам Винера для смесей. Полученные теоретические результаты в рамках плоскостной модели, содержащей обводнённые кристаллы, на качественном уровне удовлетворительно описывают наблюдаемые поляризационные эффекты в летней облачной атмосфере.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 03-02-16694).

Литература

1. Троицкий А.В., Ошарин А.М. // Изв. вузов. Радиофизика. 2000. Т. 43, № 5. С. 395.
2. Троицкий А.В., Ошарин А.М. // Изв. вузов. Радиофизика. 2001. Т. 44, № 12. С. 1016.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОГО МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАКОВ, СОДЕРЖАЩИХ ХАОТИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ЛЬДА

А. М. Ошарин, А. В. Троицкий

Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

В работах [1–3] показано, что основной причиной обнаруженного ранее явления поляризации теплового микроволнового излучения облачной атмосферы в отсутствие осадков является рассеяние фонового (атмосферного и поверхностного) излучения на ледяных облачных кристаллах. Рассмотрение эффектов поляризации в указанных работах проводилось на основе модели распространения теплового микроволнового излучения в облачной среде, содержащей либо сферические, либо горизонтально ориентированные кристаллы льда пластинчатой формы. В то же время важно подчеркнуть, что эффекты поляризации возникают при рассеянии теплового микроволнового излучения на частицах любой формы и ориентации. Несмотря на важность и очевидность влияния ориентации облачных частиц на поляризационные характеристики собственного излучения облаков, исследованию указанного обстоятельства не уделялось должного внимания в ранее опубликованных работах [1–3]. Настоящее сообщение призвано частично заполнить указанный пробел. В качестве примера рассматривается случай, когда кристаллическая фракция облаков образована хаотически ориентированными частицами льда пластинчатой формы.

На рис.1 представлены угловые зависимости поляризационных контрастов теплового излучения кристаллических облаков, содержащих хаотически ориентированные (кривые 1) и горизонтально ориентированные (кривые 2) пластинки льда, на частоте 94 ГГц. В расчетах пластинчатые кристаллы аппроксимировались сплюснутыми сфероидами с отношением главных осей $d=2.02D^{0.449}$, где D – длина большой, а d – длина малой оси сфероида в микрометрах. Ледность кристаллической фракции полагалась равной $w_i=0,2 \text{ г/м}^3$. Распределение облачных частиц по размерам аппроксимировалось экспонентой со средним размером частиц в распределении $\langle D \rangle = 500 \text{ мкм}$. Максимальный размер частиц в распределении – $D_{max}=2 \text{ мм}$. Толщина облака – 2 км, высота нижней границы облака – 1 км.

Отметим, что знак поляризационного контраста, обусловленного хаотически ориентированными пластинками, положителен во всем диапазоне углов. Это означает, что хаотически ориентированные пластинки льда ведут себя подобно эффективным сферическим частицам [1–3].

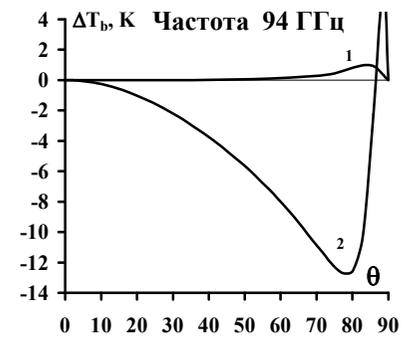


Рис.1.

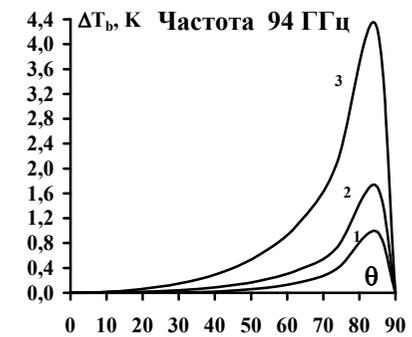


Рис.2

Сравнение полученных данных с ранее выполненными расчетами для случая горизонтально ориентированных пластинок льда (кривая 2 на рис.1) показывает, что хаотически ориентированные частицы порождают значительно меньшие (по абсолютной величине) контрасты. Это свидетельствует о том, что зарегистрированные ранее контрасты аномально большой величины [1–3], по-видимому, связаны с присутствием большого количества ориентированных частиц в облаках.

Заметим далее, что изменение характера подстилающей поверхности существенно сказывается на максимальной величине поляризационных контрастов. На рис.2 представлены угловые зависимости поляризационных контрастов теплового излучения кристаллических облаков, содержащих хаотически ориентированные пластинки льда, на частоте 94 ГГц для трех типов подстилающей поверхности (кривая 1 – черное тело, 2 – лед, 3 – вода). Их максимальные значения увеличиваются примерно в 5 раз (от 0.9 до 4.3К) при переходе от черного тела к водной поверхности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 03-02-16694).

Литература

1. Троицкий А.В., Ошарин А.М. // Изв. вузов. Радиофизика. 2000. Т. 43, № 5. С. 395.
2. Троицкий А.В., Ошарин А.М. // Изв. вузов. Радиофизика. 2001. Т. 44, № 12. С. 1016.
3. Troitsky A.V., Osharin A.M., Korolev A.V., Strapp J.W. // J. Atm. Sci. 2003. V.60. P.1608.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ МИКРОВОЛНОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

*Ш. Д. Кутай¹, Н. Н. Ошарина¹, А. В. Троицкий¹,
Е. Н. Кадыгров², Е. А. Миллер²*

¹ Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

² Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный,
Московская область, Россия

Разработаны методы и алгоритмы решения обратных задач микроволнового зондирования нижней атмосферы. Осуществлена оптимизация методов обращения с целью привязки к реальному эксперименту по термическому зондированию пограничного слоя атмосферы в полосе поглощения кислорода ~ 5 мм в режиме реального времени.

Для решения рассматриваемой некорректной обратной задачи, которая сводится к интегральному уравнению Фредгольма I рода, применены различные методы восстановления: метод регуляризации Тихонова, метод статистической регуляризации и множественная линейная регрессия. Особенности, перспективы и ограничения перечисленных методов установлены при проведении как численных экспериментов с моделированием радиометрического эксперимента по замкнутой схеме, так и дистанционных радиометрических измерений на частоте $\nu = 60$ ГГц. При этом были использованы обширные массивы данных синхронного метеорологического и радиометрического зондирования г. Мурманска (январь – март 2002 г.) и г. Долгопрудного (июнь – август 2002 г.).

Решение обратной задачи термического зондирования атмосферы в значительной степени зависит от начального приближения. В работе рассмотрены различные способы априорного задания начального приближения и их влияние на точность восстановления профиля температуры. Предложен наиболее эффективный способ задания начального приближения, основанный на привязке измеренной на зенитном угле θ яркостной температуры атмосферы к термодинамической температуре атмосферы на высоте, равной скин-слою. Это позволило получить универсальное по месту и времени наблюдений начальное приближение, при котором, с одной стороны, обратная задача остаётся линейной по температуре, а с другой, точность восстановления повышается на $\sim 0,2$ К.

Рассмотрены особенности метода регуляризации Тихонова с минимизацией сглаживающего функционала методом сопряженных градиентов. Выбор параметра регуляризации в соответствии с принципом обобщенной невязки при моделировании измерений с реальной погрешностью не привел

к удовлетворительной точности решения поставленной задачи, поэтому использовались фиксированные значения параметра регуляризации, равные $10^{-3} - 10^{-4}$, полученные на основе принципа обобщенной невязки при точных значениях яркостных температур.

При анализе эффективности использования метода статистической регуляризации, основанного на стратегии Байеса выбора оценок решения поставленной задачи, была разрешена принципиальная проблема, связанная с сезонной и региональной привязкой априорной статистической информации к району и времени проведения измерений. Была установлена универсальность созданных для реализации данного алгоритма температурных ковариационных матриц при реализованных ошибках радиометрических измерений 0,1 К.

Установлен набор статистически независимых углов наблюдения диапазона $0 - 85^{\circ}$, для которых в предположении о статистической некоррелированности ошибок измерений яркостных температур построена модель множественной линейной регрессии. Показано, что в наиболее информативной схеме прогноза температура на более высоких уровнях пограничного слоя атмосферы определяется линейной комбинацией большего количества угломестных измерений (но не более 5 – 6).

Получено, что в рамках численных экспериментов результаты решения обратной задачи термического зондирования пограничного слоя атмосферы тремя указанными методиками демонстрируют предпочтительность метода статистической регуляризации (погрешности восстановления профиля температуры до высот ~ 500 м не превышают 0,5 К) относительно методики Тихонова (соответствующая ошибка $\sim 0,68$ К) и множественной регрессии (ошибка $\sim 0,85$ К).

Реализация изложенных методов применительно к данным натуральных радиометрических измерений, выполнявшихся в г. Мурманске (март 2002г.) и в г. Долгопрудном (июль–август 2003г.) показала, что метод статистической регуляризации дает наиболее устойчивые результаты при интерпретации реальных измерений микроволнового излучения атмосферы на частоте 60 ГГц. При этом экспериментальная точность восстановления температуры в пограничном слое согласуется с аналогичными оценками, выполненными при численном моделировании.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦНТП "Физика микроволн".

РЕЗОНАТОРНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ОТРАЖЕНИЯ ОТ РАСПЛАВЛЕННОЙ ЩЁЛОЧИ (NaOH) В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

В. В. Паршин, С. Е. Мясникова

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

Работа посвящена одной из актуальнейших экологических проблем – утилизации радиоактивных отходов ядерных реакторов.

В настоящее время в мире находятся на сохранении огромные запасы отработанного радиоактивного теплоносителя атомных реакторов, который хранится в виде щелочи (NaOH), в которой «распределены» собственно радиоактивные элементы. Проблема в том, что физические объёмы хранимых отходов весьма велики и срок службы контейнеров ограничен.

Один из вариантов переработки этих запасов – это испарение щелочи посредством миллиметровых волн с последующим отделением для дальнейшей ядерной переработки радиоактивных атомов от основной массы щёлочи.

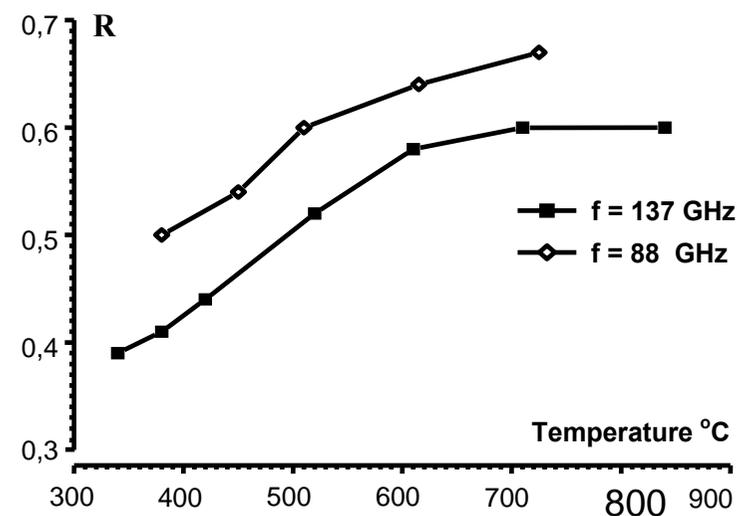
Первейшей информацией для расчета технологического цикла переработки отходов является величина коэффициента отражения (потерь на отражение) от расплавленной щелочи и её температурная зависимость. Измерения проводились в вертикально расположенном резонаторе Фабри-Перо полусферической конфигурации, в котором нижним зеркалом являлся слой расплавленной щёлочи [1, 2]. Причем, слой достаточно толстый, чтобы исключить влияние дна стакана. Изначально резонатор юстировался с использованием плоского нижнего зеркала. Резонатор в целом выставлялся так, чтобы нижнее зеркало было строго горизонтальным. Из этой конфигурации определялись начальные потери в резонаторе (Q_0). Далее нижнее зеркало заменялось на толстодонный, тонкостенный стакан из нержавеющей стали с нагревателем под дном и термоизолированный снаружи. Для измерения температуры использовалась термопара, расположенная в канале внутри толстого дна стакана в его центре. На экране осциллографа с использованием частотного сканирования вокруг резонансной частоты резонатора наблюдалась резонансная кривая. Изменение длины резонатора фиксировалось цифровым индикатором с ценой деления 1 микрон.

Расчёт потерь в резонаторе сделан исходя из выражения для добротности резонатора: $Q_{рез.} = L/\Delta L = 2\pi L/\lambda \Sigma P$. Отсюда можно записать: $\Sigma P = 2\pi \Delta L/\lambda$ где: L – длина резонатора. ΔL – ширина резонансной кривой по уровню 0,5, λ – длина волны, ΣP – суммарные потери в резонаторе.

Характерная ширина резонансной кривой пустого резонатора составляла величину ~ 4 микрон. Ширина резонансной кривой нагруженного резонатора составляла величину 100 – 70 микрон.

Т.о. начальные потери (P_0) в резонаторе составляют величину $\sim 2\%$ от нагруженного, потому их можно не учитывать. Тогда можно приписать все потери в резонаторе потерям на отражение от нижнего зеркала – расплавленной щёлочи и записать, что $P = 1-R$. Отсюда получаем выражение для коэффициента отражения от нижнего зеркала: $R = 1 - 2\pi \Delta L/\lambda$.

На графиках ниже приведены температурные зависимости коэффициентов отражения от расплавленной щёлочи на частотах 137 и 88 ГГц.



Ожидалась квазилинейная зависимость коэффициента отражения от температуры. Однако видно, что с ростом температуры расплава наблюдается стабилизация коэффициента отражения выше 700°C, которая объясняется заметным испарением щёлочи и, соответственно, охлаждением её поверхности. (В эксперименте наблюдается переход от красно-вишневого цвета к малиновому, что соответствует температурам от $\sim 650^\circ\text{C}$ до 800°C .)

Измерения проведены с хорошим отношением сигнал/шум, разброс измеряемых величин не превышал нескольких процентов (даже при $t > 700^\circ\text{C}$).

Литература

1. Dryagin Yu.A., Parshin V.V. // Int. J IR and MM Waves. 1992. V. 13, № 7. P. 1023.
2. Parshin V.V. // Int. J. IR and MM Waves. 1994. V. 15, № 2. P. 339.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСПЛАВА NaOH В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

Л. В. Лубяко, Н. К. Скалыга, Е. Ф. Федоренко

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

Свойства расплава NaOH представляют интерес для решения прикладной задачи утилизации радиоактивных отходов. В частности, представляет интерес значение мнимой части ϵ в миллиметровом диапазоне длин волн.

Для исследования проводимости расплава NaOH в коротковолновой части миллиметрового диапазона волн использовались два метода. Первый основан на измерении коэффициентов отражения для двух поляризаций при нескольких углах падения. Второй метод основан на измерении яркостной температуры расплава с последующим вычислением излучательной способности.

Установка, созданная для предварительных экспериментов, включает в себя источник излучения, имеющий частоту 90 ГГц, и высокочувствительный супергетеродинный радиометр, размещенные на поворотных устройствах, позволяющих реализовать необходимую геометрию. Точность отсчета углов была около 1 градуса.

Приемник выполнен по схеме субгармонического супергетеродинного радиометра с модуляцией принимаемого излучения. Температурная чувствительность 0,5 К при постоянной времени усреднения 1 с. Чувствительность по мощности при этом не хуже 10^{-17} Вт. Падающее излучение формируется в пучок с помощью рупорно-линзовой антенны. Поперечное сечение пучка вблизи исследуемого образца составляет 25 мм. Приемник снабжен аналогичной рупорно-линзовой антенной. Изменение поляризации осуществляется поворотом всего устройства относительно оси, совпадающей с направлением излучения. Кроме того, в тракт включен квазиоптический вращатель плоскости поляризации.

Коэффициент отражения от исследуемого образца находился как отношение сигналов, отраженных от щелочи и медной пластины, поочередно размещаемых в установке.

При измерении яркостной температуры падающий пучок перекрывается поглотителем. Радиометр предварительно калибруется по излучению абсолютно черного тела, находящегося при температуре жидкого азота.

В связи с несовершенством установки (эксперимент был предварительным) большие трудности вызывало сведение на поверхности образца диаграмм направленности приемной и передающей антенн. Последнее привело к тому, что удалось выполнить измерения лишь при углах $\sim 50^\circ$. В этой области метод нечувствителен к изменению действительной части диэлектри-

ческой проницаемости, следствием чего была оценка только мнимой части ϵ . Было выполнено две серии измерений, в которых температура NaOH менялась от комнатной до величины, несколько превышающей температуру плавления (до $\approx 400^\circ$ C). Результаты приведены в таблице.

Угол	R	поляризация	ϵ''	примечания
$\vartheta = 55^\circ$	0,37	ВП	20	Расплав NaOH был сильно загрязнен «ржавчиной»
	0,69	ГП	25	
	0,68*	ВП	50	
	0,79*	ГП	170	
$\vartheta = 50^\circ$	0,55	ВП	20	После химической очистки посуды, при толщине слоя $d \cong 1$ мм
	0,66	ГП	15	
	0,61	ВП	80	толщина слоя $d \cong 2$ мм
	0,82	ГП	85	
	0,61	ВП	80	толщина слоя $d \cong 3$ мм
	0,76	ГП	40	

* – измерения радиометром.

Как видно из таблицы, разброс результатов достаточно велик, что в первую очередь свидетельствует о недостаточной точности установки углов и совмещения излучаемого и приемного пучков.

РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРИБОР КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВА НЕФТИ «ПРИНТ-3» В СОСТАВЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*В. Д. Кротиков, И. Н. Мордвинкин, И. В. Ракуть, А. С. Пелюшенко,
С. А. Пелюшенко*

Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

В настоящее время в ряде стран ведется работа по созданию и развитию национальных служб экологического мониторинга окружающей среды. Для нефтедобывающих стран и стран, по территории которых производится транспортировка нефтепродуктов по трубопроводам и морским путем, одним из важных аспектов охраны окружающей среды является развитие парка технических средств дистанционного контроля коммуникаций в нефтедобывающих регионах и оперативного контроля районов чрезвычайных ситуаций. В рамках программы развития региональной системы экологического мониторинга Ханты-Мансийского автономного округа и создания технических средств дистанционного контроля окружающей среды в НИРФИ разработан портативный трехчастотный радиометрический прибор для дистанционного контроля толщины пленки нефти в разливе на поверхности воды. В приборе реализован радиометрический поляризационный метод измерения толщины пленки нефти, который был предложен и апробирован в НИРФИ в начале 90 г.

В состав прибора входят три радиометрических измерительных канала, работающих в диапазоне частот 10.7–11.7, 11.7–12.7 и 33–35 ГГц, а также антенная система в составе двух конических рупоров с диаграммой направленности 10^0 . Система управления работой прибора, сбора, обработки и отображения данных разработана на базе встроенной микро-ЭВМ типа "Os-tagon-6040". Предусмотрена возможность связи «ПРИНТ-3» с другим компьютером и прямой распечатки результатов работы прибора на принтере. В прибор интегрирована система GPS типа "Garmin-35" (система определения географических координат в точке измерения). При наклонном зондировании участка разлива нефти при заданном угле визирования антенны к горизонту уровни сигналов ортогональных поляризаций (вертикальной и горизонтальной) на информационных выходах радиометрических каналов оцифровываются и заносятся в память ЭВМ. В качестве опорной области используется излучение атмосферы на равном угле визирования относительно горизонта. Затем программно вычисляются приращения сигналов относительно уровней сигналов опорной области и определяется отношение приращений сигналов ортогональных поляризаций во всех трех диапа-

зонах. Толщина пленки нефти определяется сравнением измеренных отношений приращений с расчетными значениями. Работа прибора проводится в режиме диалога оператор – ЭВМ с использованием рабочей информации, которая выводится на дисплей прибора в виде запросов и итоговой информации о результатах измерений. Измерения в трех диапазонах частот обеспечивают определение толщины пленки нефти на поверхности воды в интервале 0.2–12 мм с погрешностью не хуже 10%. Для оценки объема нефтепродуктов в разливе используются географические координаты, полученные от встроенной системы GPS (для определения площади разлива), и измеренные значения толщины пленки нефти по контуру разлива в точках измерения.

Вес прибора составляет 5.8 кг без источников автономного питания. Автономное питание включает аккумуляторные батареи, смонтированные в виде нательного пояса оператора. Автономное питание обеспечивает от 2 до 6 часов работы прибора без подзарядки в зависимости от условий эксплуатации. Прибор имеет систему самоконтроля, комплектуется блоком для зарядки аккумуляторных батарей и инфракрасным термометром модели AZ 8866 для измерения температуры поверхности нефти. Прибор пригоден для перевозки наземным транспортом и работоспособен в диапазоне температур от –20 до +50 градусов Цельсия. В настоящее время прибор «ПРИНТ-3» сертифицирован службами Госстандарта и внесен в Государственный реестр измерительных приборов. Разработка и внедрение прибора «ПРИНТ-3» имеет большое значение для оперативной оценки реальных объемов аварийного загрязнения (в год на территории округа происходит более 2000 аварий), для принятия управленческих решений по ликвидации последствий аварийного загрязнения и оценки ущерба природной среде. В настоящее время изготовлена партия приборов «ПРИНТ-3» в количестве 10 комплектов, которые проходят этап внедрения и опытной эксплуатации в составе технических средств системы экологического мониторинга состояния окружающей среды службы охраны природы Ханты-Мансийского автономного округа.

Необходимо отметить, что результаты натурных испытаний и государственной поверки показывают, что желательны разработать дополнительные технические решения, которые обеспечивали бы при измерениях толщины пленки нефти независимый контроль превышения толщины пленки в разливе свыше верхнего предела 12 мм. Предварительные проработки показывают, что при использовании технических решений, заложенных в базовой модели прибора «ПРИНТ-3», данная задача может быть решена введением в прибор «ПРИНТ-3» режима спектрального анализа сигналов в диапазоне 10.7–12.7 ГГц, что позволит также расширить верхнюю границу диапазона измерений толщины пленки нефти до 150–200 мм.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ И НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

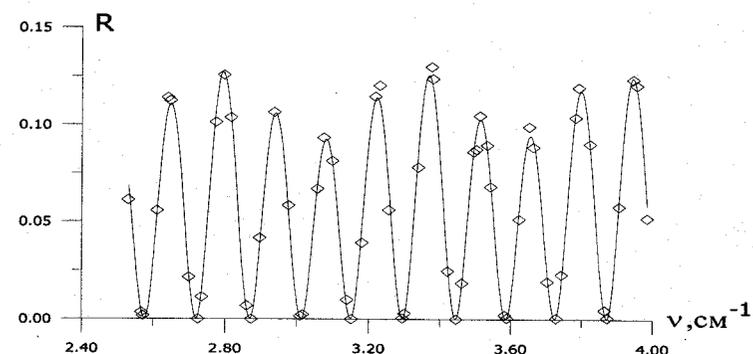
В. Е. Дудин, Б. А. Свердлов, Н. И. Фурашов

Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

Одной из важных задач, связанных с защитой окружающей среды, является развитие дистанционных радиофизических методов контроля природных вод с целью обнаружения и количественного определения в них загрязняющих веществ, в первую очередь нефти и нефтепродуктов, ввиду их высокой токсичности и наличия большого количества источников такого загрязнения. Для решения этой задачи требуются данные о диэлектрических характеристиках загрязняющих веществ. Систематические измерения комплексного показателя преломления нефти и нефтепродуктов, которые отличаются большим разнообразием, в микроволновом диапазоне, насколько нам известно, до настоящего времени не проводились. Данные выполненных единичных измерений способны дать лишь ориентировочное представление о величинах показателя преломления и коэффициента поглощения этих сред на той или другой длине волны. Ввиду этого в НИРФИ начаты целенаправленные систематические исследования по данной проблеме. В качестве первых полученных результатов в докладе представлены данные спектральных измерений комплексного показателя преломления нефти (Западно-Сибирское месторождение) и трех нефтяных масел (моторное масло SAE-10W30, индустриальное И-8А, вакуумное ВМ-1) в диапазоне частот $\nu = 75\text{--}120$ ГГц.

Измерения выполнялись на установке квазиоптического типа с источником излучения лампой обратной волны ОВ-71 и оптико-акустическими приемниками ОАП-7. Исследуемая жидкость помещалась в кювету с тефлоновыми окнами. Использовались кюветы толщиной 11,5 и 35 мм. Одновременно измерялись две электродинамические характеристики кюветы с жидкостью – коэффициент пропускания $T(\nu)$ и коэффициент отражения $R(\nu)$, благодаря чему возможно определение диэлектрических параметров исследуемого образца двумя независимыми способами. Процедура в использованных способах заключается в подборе параметров теоретической зависимости $T(\nu)$ ($R(\nu)$), полученной для трехслойной диэлектрической среды в приближении плоских волн, для аппроксимации соответствующей экспериментальной зависимости путем варьирования входящих в расчетную формулу диэлектрических параметров образца и минимизации суммы квадратов отклонений расчетной кривой от экспериментальных точек. В качестве примера на рисунке приведены результаты измерений зависимо-

сти $R(\nu)$ для кюветы с маслом ВМ-1 (ромбики – экспериментальные значения, сплошная линия – аппроксимирующая кривая).



В результате измерений получены следующие данные о комплексном показателе преломления $N=n+ik$ исследованных жидкостей. Показатели преломления n нефти и упомянутых выше масел имеют достаточно близкие значения и незначительный отрицательный частотный ход. На частоте 100 ГГц (средней частоте рабочего диапазона) значения n лежат в интервале от 1,479 (вакуумное масло ВМ-1) до 1,493 (индустриальное масло И-8А). Изменение величины n с частотой в диапазоне 75–120 ГГц не превышает 0,35%.

В отношении показателя поглощения k ситуация совсем иная: исследованные жидкости имеют существенно различные значения этого параметра. Наиболее сильно отличаются показатели поглощения нефти и масла ВМ-1. На частоте 100 ГГц они соответственно равны $1,95 \cdot 10^{-3}$ и $2,1 \cdot 10^{-4}$. Интересно отметить низкий уровень поглощения в масле ВМ-1, по величине потерь оно близко к тефлону – одному из наиболее прозрачных материалов в микроволновом диапазоне. По сравнению с n показатели поглощения исследованных жидкостей имеют более сильную зависимость от частоты. В указанном диапазоне частот изменения k составляют 30–70%. Отметим, что в отличие от масел, показатели поглощения которых увеличиваются с ростом частоты, для нефти получена противоположная частотная зависимость этого параметра.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Ю. И. Белов¹, А. В. Кашин²

¹Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

²Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю. Е. Седакова, ФГУП НИИИС, Нижний Новгород, Россия

В процессе создания радиосистем, располагаемых на борту орбитальных спутников, предназначенных для дистанционного зондирования земной поверхности, необходимо учитывать жесткие требования электромагнитной совместимости, предъявляемые к характеристикам бортовых антенных устройств, создающих вне своего сектора рабочих углов недопустимый уровень помех, как наземным радиосистемам, так и соседним космическим аппаратам.

Исследование бортовых спутниковых антенных систем и паспортизация их характеристик в широком секторе углов предлагается осуществлять в безэховой камере НИИИС, предназначенной для работы с антенно-фидерными устройствами, которая оснащена чувствительной приемно-измерительной аппаратурой, функционирующей в широком частотном диапазоне, и поворотными высокоточными стендами.

Основа приемной системы – анализатор спектра НР 8563Е, обладающий уровнями собственных шумов от 151 дБм/Гц до 140 дБм/Гц в диапазоне 100 МГц – 17.44 ГГц, соответственно, и преобразователи частоты на гармониках, расширяющих диапазон измерений до миллиметрового. Преобразователи имеют коэффициент шума от 35 до 40 дБ в зависимости от диапазона.

Энергетический потенциал системы, как характеристика при измерениях рассеяния, определяется динамическим диапазоном приемной системы и составляет величину от 136 дБ в окрестности 100 МГц до 115 дБ в верхней части диапазона.

Для ускорения проведения испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС) и исследования побочных излучений в широком диапазоне углов стенд позиционирования исследуемых радиосистем автоматизирован по управлению азимутально-поляризационными осями вращения с погрешностями углов позиционирования ~ 3 угл. мин.

Коэффициент безэховости (КБЭ) камеры исследован методом перемещающегося зонда во всем диапазоне и характеризуются величинами КБЭ от – 25 дБ до – 45 дБ.

ПОЛЯРИМЕТРЫ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ ОБЛАКОВ

А. В. Востоков, В. П. Сырейщиков, А. В. Троицкий

Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

Задачи диагностики фазовой структуры облаков в микроволновом диапазоне требуют разработки и создания поляриметров – поляризационных радиометров с одновременным измерением вертикальной, горизонтальной и разностной поляризации в реальном времени. Основные технические требования к таким приборам – высокая чувствительность, стабильность, широкий динамический диапазон, помехоустойчивость, возможность автономного питания.

В НИРФИ разработано и изготовлено новое поколение поляриметрических радиометров супергетеродинного типа на длины волн 8 и 3 мм. Поляриметры выполнены в твердотельном исполнении со смесителями Шоттки на входе. Суммарная полоса приёма по прямому и зеркальному каналу 4 ГГц. Разделение поляризаций в радиометрах осуществляется с помощью переключателя поляризации, основанного на эффекте Фарадея (вращение плоскости поляризации электромагнитной волны в магнитном поле). Это позволяет осуществить одновременное измерение первых трёх параметров Стокса (I , Q , U) микроволнового излучения атмосферы. Суть методики поляриметрических измерений состоит в следующем. Устанавливая поочередно четыре значения магнитного поля в специальном устройстве (переключателе поляризации), заполненном ферромагнетиком (частота переключения магнитного поля порядка 300 Гц), осуществляется приём излучения атмосферы на углах 0 и 90 градусов, а также 45 и 135 градусов (ориентация вектора электрического поля волны отсчитывается от линии горизонта). Синхронная фильтрация и детектирование осуществляются также поочередно на каждом угле. Полусумма первых двух измерений есть первый параметр Стокса, а их разность – второй. Разность двух вторых измерений – третий параметр Стокса. Формирование полусуммы (I) и разностей (Q и U) осуществляется в цифровом виде на ПК.

Развязка между каналами не менее 20 дБ. Модуляция сигнала сделана асимметричной по отношению к времени накопления опорного сигнала – каждая из поляризаций и опорный сигнал принимаются 1/3 периода. Это позволило на 17% увеличить полезное время наблюдения сигнала, а, следовательно, и чувствительность поляриметров по сравнению с обычными схемами поляризационных радиометров [1]. Применены малошумящие УПЧ с шумовой температурой $\cong 80^0$ К. Для повышения стабильности радиометров использована прецизионная аналоговая система термостабилизации. Для унификации напряжений питания разработана схема импульсно-

СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПОСТРОЕНИЯ БЛОКОВ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАДИОМЕТРОВ

В. П. Сырейщиков

Научно-исследовательский радиофизический институт, Нижний Новгород, Россия

го преобразователя, что позволяет иметь единое общее питание (возможно автономное) +12В. Совокупность всех этих технических решений позволила реализовать чувствительность поляриметров $0,05^0$ К на длине волны 8 мм и $0,1^0$ К на длине волны 3 мм при постоянной времени интегрирования 1 сек, что примерно в 3–4 раза выше, чем у обычных образцов ранее используемых поляриметров. Если учесть, что в натуральных экспериментах время интегрирования сигнала обычно составляет примерно 20–30 сек, то разработанные поляриметры позволяют измерять поляризационные контрасты величиной в несколько сотых градуса.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 03-02-16694).

Литература

1. *Абрамов В.И., Беликович В.В., Белов И.Ф. и др.* Радиотелескоп для поляризационных измерений галактического радиоизлучения в диапазоне 30 см: Препринт НИРФИ №217. Горький, 1986.

Задачи прецизионных радиометрических измерений требуют использования аппаратуры с высоким качеством обработки сигнала по таким характеристикам, как стабильность, динамический диапазон, помехоустойчивость. Различные направления применения требуют учёта специфики исследований и вызывают необходимость разработки радиометров с особыми, нестандартными параметрами.

Задача прецизионных абсолютных измерений плотностей потоков внеземных радиоисточников (остатков сверхновых, Кассиопея-А, Телец, радиогалактик) и других источников потребовала необходимости разработки высокочувствительных стабильных радиометров. Для этого в тракте радиометра в устройстве управления СВЧ-модуляторами использована схема эквивалентного замещения развязок, что позволило значительно уменьшить уровень паразитных наводок и бросков по питающему напряжению и току. Разработанные радиометры на 10 и 3 см имеют высокую стабильность и флуктуационный порог чувствительности несколько сотых градуса.

Задача спектральных наблюдений явлений солнечной активности в радиодиапазоне требует разработки блоков низкой частоты (БНЧ) – синхронного фильтра, синхронного детектора, усилителя с широким диапазоном изменения коэффициента усиления и с малым временем интегрирования ~ 100 -10 мсек. Разработаны БНЧ со схемотехнической особенностью: ключи синхронного детектора не просто размыкаются, а подключаются на сохраненное предыдущее значение. Действующий макет блока низкой частоты для гелиоспектрографа имеет 16 шагов изменения усиления и постоянную интегрирования 10 мсек.

Задача прецизионных поляризационных наблюдений требует разработки высокочувствительных радиометров с одновременным измерением вертикальной, горизонтальной поляризации и их разности. Разработаны радиометры с асимметричным временем накопления. Время накопления, а, следовательно, и чувствительность, на 17% больше чем у радиометров по классической схеме [1].

Задача радиометрических измерений на больших радиотелескопах, таких как РАТАН-600, РТ-22 требуют разработки специализированных блоков низкой частоты (БНЧ) – программно управляемых, унифицируемых, высокостабильных. Разработаны и изготовлены унифицированные БНЧ с возможностью программного и ручного подавления со схемными особенностями – усиление полезного сигнала без усиления коммутационных помех, стробирование принимаемого сигнала в моменты переключения модуляции. Эти унифицированные низкочастотные блоки успешно применяются в наблюдениях микроволнового излучения Солнца.

Литература

1. *Абрамов В.И., Беликович В.В., Белов И.Ф. и др.* Радиотелескоп для поляризационных измерений галактического радиоизлучения в диапазоне 30 см: Препринт НИРФИ №217. Горький, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Рыскин В.Г., Красильников А.А., Кукин Л.М., Куликов Ю.Ю.</i> Микроволновые измерения стратосферного озона в полярных широтах зимой 2002-2003 годов	3
<i>Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Розанов С.Б.</i> Особенности высотного распределения озона в средних широтах в холодный период 2002-2003 гг. по измерениям на миллиметровых волнах	5
<i>Красильников А.А., Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г., Федосеев Л.И.</i> Вариации озона во время солнечного затмения 31 мая 2003 года по данным микроволновых наблюдений	7
<i>Шкелев Е.И., Кисляков А.Г., Вакс В.Л., Савельев Д.В.</i> Вариации оптической толщи атмосферы в линиях O ₃ и N ₂ O	9
<i>Куликов Ю.Ю., Кисляков А.Г., Ястребов И.П.</i> Космические лучи и атмосферный озон. Результаты наблюдений на миллиметровых волнах	11
<i>Троицкий А.В., Востоков А.В., Ошарин А.М.</i> Поляризационные эффекты при рассеянии микроволнового излучения в летней облачной атмосфере.....	13
<i>Ошарин А.М., Троицкий А.В.</i> Поляризация теплового микроволнового излучения облаков, содержащих хаотически ориентированные кристаллы льда.....	15
<i>Китай Ш.Д., Ошарина Н.Н., Троицкий А.В., Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А.</i> Развитие методов решения обратных задач микроволнового зондирования температуры пограничного слоя атмосферы.....	17
<i>Паршин В.В., Мясникова С.Е.</i> Резонаторный метод измерения отражения от расплавленной щёлочи (NaOH) в миллиметровом диапазоне длин волн	19
<i>Лубяко Л.В., Скалыга Н.К., Федоренко Е.Ф.</i> Исследование диэлектрических свойств расплава NaOH в миллиметровом диапазоне волн	21
<i>Кротиков В.Д., Мордвинкин И.Н., Ракуть И.В., Пелюшенко А.С., Пелюшенко С.А.</i> Радиометрический прибор контроля параметров разлива нефти - "ПРИНТ-3" в составе региональной системы экологического мониторинга	23
<i>Дудин В.Е., Свердлов Б.А., Фурашов Н.И.</i> Исследование диэлектрических свойств нефти и нефтяных масел на миллиметровых волнах.....	25
<i>Белов Ю.И., Кашин А.В.</i> Информационно-измерительная система для исследования аппаратуры дистанционного зондирования в широком диапазоне частот.....	27
<i>Востоков А.В., Сырейщиков В.П., Троицкий А.В.</i> Поляриметры миллиметрового диапазона для диагностики фазовой структуры облаков	28
<i>Сырейщиков В.П.</i> Схемотехнические решения построения блоков низкой частоты как метод повышения качества радиометров.....	30

Второй региональный научный семинар

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МИКРОВОЛН В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ

Подписано в печать 14.11.02. Формат 60x84/16
Бумага писчая. Объем 2 усл.п.л.
Тираж 50. Заказ 5530

Отпечатано в НИРФИ.
603950 Н.Новгород, ул. Б.Печерская, 25